



Marco Paulo Viegas
Araújo

PLANEAMENTO E DIMENSIONAMENTO DE REDES
WIMAX



**Marco Paulo Viegas
Araújo**

PLANEAMENTO E DIMENSIONAMENTO DE REDES WIMAX

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Electrónica e de Telecomunicações (Mestrado Integrado), realizada sob a orientação científica do Dr. António Navarro e do Dr. Armando Rocha, ambos Professores Auxiliares do Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro.

o júri

Presidente

Doutora Ana Maria Perfeito Tomé
Professora Associada da Universidade de Aveiro

Orientador

Doutor António José Nunes Navarro Rodrigues (Orientador)
Professor auxiliar da Universidade de Aveiro

Orientador

Doutor Armando Carlos Domingues da Rocha (Co-Orientador)
Professor auxiliar da Universidade de Aveiro

Vogal

Doutor Victor Daniel Neto dos Santos
Professor equiparado a professor adjunto do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

agradecimentos

Gostaria de agradecer em especial aos orientadores desta dissertação:

Ao professor Armando Rocha por estar sempre presente e pronto a ajudar. O professor Armando Rocha muitas das vezes era o próprio a tomar a iniciativa de fazer evoluir a dissertação e possui uma dedicação ao trabalho dos seus alunos como eu nunca vi em mais nenhum professor desta universidade. Hoje posso dizer que ter ficado com o professor Armando Rocha como co-orientador foi uma das melhores coisas que me aconteceu ao nível desta dissertação.

Ao professor António Navarro, pois sem ele esta dissertação nunca teria sido possível. Mesmo quando se chegou a por em causa a continuidade deste projecto devido a dificuldades em arranjar o simulador, o professor Navarro fez todos os possíveis para que este projecto fosse para a frente. Foi também da sua parte que surgiram as iniciativas para marcar reuniões de grupo e individuais com os seus alunos de dissertações. Gostaria também de aproveitar para lhe agradecer por ter estado sempre presente para ajudar.

Muito obrigado a ambos.

palavras-chave

Telecomunicações, Wireless, Modulação, OFDM, Propagação, SUI, ITU-R 525, Desvanecimento, Ruído, WiMAX, IEEE 802.16-2004, IEEE 802.16-2005, Planeamento de cobertura, Multimedia .

resumo

O mundo das telecomunicações encontra-se em constante evolução. Perante um mundo cada vez mais globalizado, cabe às telecomunicações a missão de aproximar pessoas que se encontram espalhadas pelo mundo. Quando outrora existiam os telefones fixos (que já em si faziam uma diferença abismal na vida das pessoas), agora temos computadores com Internet o que permite a comunicação com pessoas no outro lado do planeta através de um simples clique no rato, aumentando a eficiência e diminuindo custos. No entanto as pessoas cada vez são mais exigentes e nunca estão satisfeitas com a tecnologia actual, criando assim a necessidade de inovar e ir sempre mais além na área das telecomunicações. Nos últimos 15 anos deu-se um passo de gigante nesta área através das comunicações móveis (especialmente a partir do aparecimento do GSM). Há alguns anos atrás surgiu a tecnologia *wireless* (sem fios) que trouxe consigo a possibilidade do utilizador estar sempre ligado em (quase) qualquer lugar. No entanto devido a limitações de velocidade, bem como de segurança, existe a necessidade de criar uma nova geração desta tecnologia. Esta nova tecnologia designa-se por WiMAX e prevê-se que mude a vida de muita gente, pois possui débitos elevadíssimos e um bom sistema de segurança. Baseia-se na mesma arquitectura de um vulgar sistema de comunicações móveis: uma estação base por célula (pequena parcela de área) para transmissão de dados e um dispositivo móvel com uma antena para recepção e transmissão de dados e tem como principal vantagem o facto de não possuir fios e permitir que pessoas que vivam em zonas rurais se possam ligar à Internet com débitos elevados. Actualmente esta tecnologia encontra-se em fase experimental, sendo no entanto já implementada em algumas zonas pela primeira vez, nomeadamente em Aveiro, Portugal. Esta dissertação tem como objectivo estudar todo o conceito de “tecnologia WiMAX” e as suas características mais importantes e realizar uma análise séria e profunda do planeamento duma rede baseada nesta tecnologia, recorrendo para isso à ferramenta de simulação ATDI ICS Telecom.

keywords

Telecommunications, Wireless, Modulation, OFDM, Propagation, SUI, ITU-R 525, Fading, Noise, WiMAX, IEEE 802.16-2004, IEEE 802.16-2005, Network Planning, Multimedia.

abstract

The world of telecommunications is in a constant evolution. In a world that gets more globalized everyday, it's up to the telecommunications to join people across the globe. In the past we had fixed telephones (which already made a huge difference in people's lives), but now we have Internet, which allowed us to communicate with people in the other side of the world just by click a mouse button, increasing efficiency and decreasing costs. Still people's demands are increasing day-by-day and they're never pleased with the current technology, which results in a bigger necessity to innovate and go further in the telecommunications world. In the last 15 years, a huge step has been taken in the mobile communications (especially since the development of GSM). A few years ago the wireless technology brought the possibility of always being connected (almost) everywhere. Nevertheless, due to speed and security limitations, the needs to develop a better mobile technology as come. This new technology as a name: WiMAX. It is expected to change the life of many persons, due to his high speed and great security system. It is based on the same architecture as a normal mobile system: one base station per cell (small amount of area) to transmit data and a mobile device with an antenna to receive and transmit data and it's biggest advantage is that it is wireless and allowed people in rural environments to connect to the Internet at a high speed rate. Currently this technology is in an experimental phase, although it's already being implanted in some regions by the first time.

This thesis has a primary goal the study of the WiMAX technology (including it's most important features) and to made a serious analysis of the planning of a network of this kind (using for that the ATDI ICS Telecom tool).

Prefácio

A escrita desta dissertação dividir-se-á essencialmente em três partes. Na primeira será feita uma abordagem teórica às diversas tecnologias sem fios existentes actualmente que melhor se enquadram no âmbito deste projecto, seguindo-se um estudo teórico de fundamentos de telecomunicações e modelos de propagação.

Na segunda parte será feito um *overview* da tecnologia WiMAX, destacando-se a camada física e MAC.

Na terceira parte será feito o planeamento celular da rede seguindo-se a análise e demonstração dos resultados obtidos no simulador ICS TELECOM da companhia ATDI. O planeamento da rede incidirá sobre a região de Aveiro, numa área de aproximadamente 15 km².

Índice

O JÚRI	III
AGRADECIMENTOS	V
PALAVRAS-CHAVE	VII
RESUMO	VII
PREFÁCIO	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XVII
ACRÓNIMOS	XXI
LISTA DE SÍMBOLOS	XXVII
TRADUÇÕES ÚTEIS	XXVII
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO AOS SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO SEM FIOS	1
1.1. INTRODUÇÃO	1
1.2. HISTÓRIA	1
1.3. ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO	2
1.4. SISTEMA DE TELECOMUNICAÇÕES GENÉRICO	2
1.5. SISTEMAS DE COMUNICAÇÕES COM FIOS - LINHAS DE TRANSMISSÃO	3
1.5.1. <i>Twisted pair</i>	3
1.5.2. <i>Cabo coaxial</i>	3
1.5.3. <i>Guias de onda</i>	4
1.5.4. <i>Cabos de fibra óptica</i>	4
1.6. SISTEMAS CELULARES	5
1.6.1. <i>Gerações</i>	5
1.6.2. <i>Conceito de célula</i>	6
1.6.3. <i>GSM</i>	6
1.6.4. <i>EDGE</i>	8
1.6.5. <i>HSDPA</i>	8
1.6.6. <i>DVB e televisão digital</i>	8
1.6.7. <i>Wi-Fi</i>	9
CAPÍTULO 2 – MODELOS DE PROPAGAÇÃO P/ PLANEAMENTO DE UMA REDE CELULAR	13
2.1. ONDAS E PROPAGAÇÃO	13
2.1.1. <i>Perdas de percurso</i>	14
2.1.2. <i>Multipercurso</i>	14
2.1.3. <i>Modelos Estatísticos</i>	15
2.1.3.1. <i>Shadowing</i>	16
2.1.3.2. <i>Desvanecimento</i>	16
2.1.4. <i>Modelos de propagação</i>	19
2.1.4.1. <i>Modelo de Hata-Okumura</i>	20
2.1.4.2. <i>Modelo COST 231 Walfisch-Ikegami</i>	22
2.1.4.3. <i>ITU-R 525</i>	25
2.1.4.4. <i>SUI (Stanford University Interim)</i>	27
2.2. RUÍDO	30

CAPÍTULO 3 – MODULAÇÃO E TÉCNICAS DE ACESSO	35
3.1. MODULAÇÃO	35
3.1.1. FSK ('Frequency Shift Keying')	37
3.1.2. ASK ('Amplitude Shift Keying')	37
3.1.3. PSK ('Phase Shift Keying')	38
3.1.4. QPSK ('Quadrature Phase Shift Keying')	39
3.1.5. QAM ('Quadrature Amplitude Modulation')	40
3.2. CAPACIDADE DE UM CANAL DE TRANSMISSÃO	41
3.3. DUPLEXING	42
3.3.1. FDD (Frequency Division Duplex)	42
3.3.2. TDD (Time Division Duplex)	42
3.4. TÉCNICAS DE ACESSO MÚLTIPLO	43
3.4.1. Frequency Division Multiple Access (FDMA)	43
3.4.2. Time Division Multiple Access (TDMA)	43
3.4.3. Code Division Multiple Access (CDMA)	43
CAPÍTULO 4 – INTRODUÇÃO AO WIMAX	49
4.1. RESPOSTA A UM DESAFIO COMERCIAL	49
4.2. PENETRAÇÃO NO MERCADO	51
4.3. DESAFIO TÉCNICO	51
4.4. SOLUÇÃO WIMAX	52
4.5. FREQUÊNCIA DE FUNCIONAMENTO	53
4.6. ANTENAS	54
4.6.1. Diversidade e multiplexagem espacial	55
4.6.2. Beamforming	57
CAPÍTULO 5 – CAMADA FÍSICA DO WIMAX	59
5.1. INTRODUÇÃO	59
5.2. OFDM	60
5.2.1. Sincronização	64
5.2.2. Factores a ponderar no desenho do OFDM	65
5.2.3. Vantagens	65
5.3. OFDMA	66
5.3.1. Estratégias de acesso múltiplo para OFDM	66
5.3.2. Exploração da diversidade na frequência	67
5.3.3. Diversidade multi-utilizador	67
5.4. MODULAÇÃO NO WIMAX	66
CAPÍTULO 6 – CAMADA MAC DO WIMAX	73
6.1. TECNOLOGIAS PARA MELHORAR A PERFORMANCE	73
6.2. CAMADA MAC	74
6.3. QoS (QUALITY OF SERVICE)	74
6.4. SEGURANÇA	75
6.5. OPÇÕES PARA POUPANÇA ENERGÉTICA E MOBILIDADE	76
6.6. ARQUITECTURAS MAC	76
6.7. ARQUITECTURA DE REDE	78
6.7.1. Modelo de rede	78
6.7.2. Gestão de sessão	79
6.7.3.1. O protocolo SIP	80
6.7.3.2. Real-Time Transport Protocol	80
6.8. RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DO WIMAX	81

CAPÍTULO 7 – PLANEAMENTO DA REDE WIMAX	85
7.1. INTRODUÇÃO	85
7.2. A FERRAMENTA ATDI ICS TELECOM	87
7.3. ESPECTRO	88
7.4. PROJECT SETUP	89
7.5. PLANEAMENTO CELULAR	89
7.6. CÁLCULO DA LARGURA DE BANDA POR UTILIZADOR	91
7.7. COBERTURA <i>INDOOR</i>	92
7.8. CÁLCULO DO DÉBITO E DA EFICIÊNCIA ESPECTRAL	93
7.9. CÁLCULO DA CAPACIDADE DO SISTEMA	95
7.10. CONFIGURAÇÃO DAS ESTAÇÕES BASE	97
CAPÍTULO 8 – ANÁLISE DE RESULTADOS	103
8.1. ANÁLISE DE RESULTADOS RECORRENDO AO MODELO SUI	103
8.2. ANÁLISE DE RESULTADOS RECORRENDO AO MODELO ITU-R 525	104
8.3. ANÁLISE PARA WIMAX 802.16D (FIXO)	114
CONCLUSÕES	121
BIBLIOGRAFIA	124
APÊNDICE	127
DISTRIBUIÇÃO NORMAL OU GAUSSIANA	130
DISTRIBUIÇÃO LOG-NORMAL	131
DISTRIBUIÇÃO DE RICE	132
DISTRIBUIÇÃO DE RAYLEIGH	134
ANEXOS	137

Índice de figuras

Figura 1.1: Sistema de blocos de um sistema de telecomunicações genérico	2
Figura 1.2: Conceito de célula.....	6
Figura 1.3: Arquitectura GSM.....	7
Figura 1.4: Sistemas DVB.....	9
Figura 2.1: Multipercurso.....	14
Figura 2.2: Desvanecimento.....	17
Figura 2.3: O período e largura de banda de coerência são usados para quantificar o efeito do canal.....	18
Figura 2.4: Efeito do canal decomposto em três componentes.....	18
Figura 2.5: Cobertura do modelo Hata-Okumura com a estação base ao centro.....	20
Figura 2.6: Parâmetros do modelo Hata-Okumura.....	20
Figura 2.7: Perdas de percurso em função da distância em ambiente suburbano.....	21
Figura 2.8: Perdas de percurso em função da distância em ambiente rural.....	22
Figura 2.9: Modelo COST 231 Walfisch-Ikegami.....	22
Figura 2.10: Aplicação dos parâmetros ao modelo COST 231 Walfisch-Ikegami.....	23
Figura 2.11: Perdas de percurso em função da distância com NLOS em centro urbano.....	25
Figura 2.12: Perdas de percurso em função da distância com LOS em centro urbano.....	25
Figura 2.13: obstrução parcial do elipsóide de Fresnel por um obstáculo em lâmina.....	26
Figura 2.14: Obstrução parcial por vários obstáculos no percurso.....	27
Figura 2.15: Distância em função da potência recebida para $G_T = 22\text{dBi}$ e $f = 7\text{MHz}$	30
Figura 2.16: Distância em função da potência recebida para $G_T = 18\text{dBi}$ e $f = 7\text{MHz}$	30
Figura 2.17: Sistema de telecomunicações, configuração genérica.....	31
Figura 3.1: Sinal FSK.....	37
Figura 3.2: Sinal ASK.....	37
Figura 3.3: DEP de um sinal FSK.....	37
Figura 3.4: Obtenção da forma de onda PSK.....	38
Figura 3.5: DEP de um sinal PSK.....	38
Figura 3.6: Representação de sinais QPSK em fase e quadratura (constelação).....	39
Figura 3.7: Constelação 16-QAM.....	40
Figura 3.8: Frequency Division Duplex.....	42
Figura 3.9: Time Division Duplex.....	43
Figura 3.10: FDMA.....	43
Figura 3.11: TDMA.....	43
Figura 3.12: CDMA.....	44
Figura 4.1: Estudo comparativo entre diversas tecnologias wireless.....	50
Figura 4.2: Distribuição das frequências licenciadas para operar em WiMAX.....	54
Figura 4.3: MIMO.....	56
Figura 4.4: Sistema de multiplexagem espacial MIMO.....	56
Figura 4.5: Uso de agregados para direccionar o feixe e evitar interferidores.....	67
Figura 5.1: Modulação em função da distância.....	60
Figura 5.2 Espectro de três subportadoras formando um sinal OFDM.....	61
Figura 5.3: Modulação OFDM - exemplificação.....	62
Figura 5.4: Prefixo cíclico.....	63
Figura 5.5: Bloco de dados de um sistema OFDM.....	64
Figura 5.6: Esquema OFDM de acesso múltiplo que explora diversidade na frequência.....	67
Figura 5.7: Sistema OFDM de acesso múltiplo que explora diversidade multi-utilizador.....	68
Figura 5.8: Exemplo de modulação adaptativa no WiMAX.....	68
Figura 5.9: SNR vs BER (calculado usando a ferramenta ‘bertool’ do matlab).....	69

Figura 5.10: Eficiência espectral vs SNR.....	69
Figura 6.1: Camadas física e MAC	74
Figura 6.2: Processos de segurança – autenticação e troca de chaves.....	75
Figura 6.3: Rede WiMAX possível.....	77
Figura 6.4: Arquitectura de rede WiMAX baseada no protocolo IP	79
Figura 7.1: Mapa de Aveiro: Perspectiva 2D.....	86
Figura 7.2: Mapa de Aveiro. Perspectiva 3D.....	86
Figura 7.3: Valores típicos de atenuações para cobertura indoor.....	89
Figura 7.4: Janela de configuração do projecto.....	93
Figura 7.5: Mapa celular sectorizado	93
Figura 7.6: Números identificativos dos sectores das estações base.....	93
Figura 7.7: Reutilização de frequências	93
Figura 7.8: Células sectorizadas. A castanho encontra-se representada a zona onde ocorre interferência	93
Figura 7.9: Parâmetros das estações base.....	97
Figura 7.10: Padrão das antenas.....	97
Figura 7.11: Zona urbana	99
Figura 7.12: Base de dados de subscribers e parâmetros de tráfego	100
Figura 7.13: Parenting.....	101
Figura 7.14: Paleta de cores das modulações.....	101
Figura 8.1: Cobertura recorrendo ao modelo SUI.....	104
Figura 8.2: Área total coberta recorrendo ao modelo SUI	105
Figura 8.3: Mapa de frequências utilizado no modelo SUI.....	106
Figura 8.4: Análise da interferência recorrendo ao modelo SUI.....	106
Figura 8.5: Análise do handover recorrendo ao modelo SUI.....	107
Figura 8.6: Análise do QoS recorrendo ao modelo SUI para 600 estações assinantes.....	107
Figura 8.7: Análise do QoS recorrendo ao modelo SUI para 900 estações assinantes.....	108
Figura 8.8: Cobertura recorrendo ao modelo ITU-R 525.....	109
Figura 8.9: Área total coberta recorrendo ao modelo ITU-R 525	111
Figura 8.10: Mapa de frequências utilizado no modelo ITU-R 525.....	111
Figura 8.11: Análise da interferência recorrendo ao modelo ITU-R 525.....	112
Figura 8.12: Análise do handover recorrendo ao modelo ITU-R 525.....	112
Figura 8.13: Análise do QoS recorrendo ao modelo ITU-R 525 para 600 estações assinantes	113
Figura 8.14: Análise do QoS recorrendo ao modelo ITU-R 525 para 900 estações assinantes	114
Figura 8.15: Cobertura indoor para WiMAX fixo recorrendo ao modelo ITU-R 525	115
Figura 8.16: Análise do QoS recorrendo ao modelo ITU-R 525 para indoor para WiMAX fixo para 600 estações assinantes.....	116
Figura 8.17: Análise do QoS recorrendo ao modelo ITU-R 525 para indoor para WiMAX fixo para 900 estações assinantes.....	117
Figura A.1: Distribuição normal para vários valores de μ e σ	131
Figura A.2: Função densidade de probabilidade lognormal	132
Figura A.3: Vários vectores exemplificativos da distribuição de Rice	133
Figura A.4: Função densidade de probabilidade de Rice com desvio padrão 1	133
Figura A.5: Vários vectores exemplificativos da distribuição de Rayleigh	134
Figura A.6: Função densidade de probabilidade de Rayleigh.....	135
Figura A.7: Comparação entre as diversas distribuições. Todas têm a mesma área (1), no entanto a gaussiana é perfeitamente simétrica ao invés das restantes	135

Acrónimos

AC	Authentication Center
ADC	Conversor Analógico-Digital
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AES	Advanced Encryption Standard
AK	Authentication Key
AM	Modulação em amplitude
AMPS	Advanced Mobile Phone System
ANACOM	Autoridade nacional para as comunicações
AP	Authentication Point ou Access Point
ARQ	Automatic Repeat-reQuest
ASK	Amplitude-shift keying
ATM	Asynchronous Transfer Mode
ATSC	Advanced Television Systems Committee
AWGN	Additive White Gaussian Noise
BE	Best-Effort
BER	Bit Error Rate
BSC	Base Station Controller
BS	Base Station
BTS	Base Transceiver Station
BWA	Broadband Wireless Access
CBC	Cipher Block Chaining
CCK	Complementary code keying
CDF	Cumulative Density Function
CDMA	Code Division Multiple Access
CMAC	Cipher-based Message Authentication Code
CPE	Consumer Premises Equipment
CPM	Continuous phase modulation

CPS	Common Part Sublayer
CRC	Code Error Correction
CS	Convergence Sublayer
CTC	Convolutional Turbo Code
DAB	Digital Audio Broadcast
DAC	Digital Analogue Converter
DAMPS	Digital Advanced Mobile Phone Service
DES	Data Encryption Standard
DEM	Digital Elevation Model
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DNS	Domain Name Server
DOA	Direction of Arrival
DSB	Modulação em banda lateral dupla
DSL	Digital Subscriber Line
DSP	Digital Signal Processing
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
DVB	Digital Vídeo Broadcasting
DVB-S	DVB Satélite
DVB-C	DVB Cabo
DVB-T	DVB Terrestre
DVB-H	DVD Portátil
EAP	Extensible Authentication Protocol
EIR	Equipment Identity Register
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
ETSI	Instituto Europeu de Normas de Telecomunicações
FDD	Full Division Duplex
FDP	Função Densidade de Probabilidade
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FFT	Fast Fourier Transform
FM	Modulação em frequência
FSK	Frequency-shift keying

FTP	File Transfer Protocol
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communications
HDTV	High Definition Television
HLR	Home Location Register
HMAC	Hashed Message Authentication Code
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HSPA	High Speed Packet Access
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform
IP	Internet Protocol
ISDB	Integrated Services Digital Broadcasting
ISDN	Integrated Services Digital Network
ITU	International Telecommunication Union
JDC	Japanese Digital Cellular
KEK	Key Encryption Key
LAN	Local Area Network
LED	Díodo Emissor de Luz
LOS	Line of Sight
MAC	Media Access Control
MCn	Capacidade de Nyquist
MCs	Capacidade de Shannon
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MPEG	Moving Picture Experts Group
MS	Mobile Station
MSK	Minimum-shift keying
NLOS	Non Line of Sight
NMT	Nordic Mobile Telephony
NRZ	Non Return to Zero

MS	Mobile Station
MSC	Mobile services Switching Center
nrtPS	Non-Real-Time Polling Service
NTSC	National Television Systems Committee
NWG	Network Working Group
OFDM	Orthogonal frequency-division multiplexing
OFDMA	Orthogonal frequency-division multiplexing Access
OOK	On-off keying
P2MP	Point to Multipoint
P2P	Point to Point
PAL	Phase Alternating Line
PAM	Modulação por amplitude de pulso
PAN	Personal Area Network
PAPR	Peak-to-Average Power Ratio
PC	Personal Computer
PCM	Modulação por pulso codificado
PDA	Personal Digital Assistant
PM	Modulação em fase
PPM	Modulação por posição de pulso
PSK	Phase-shift keying
PSTN	Public Switched Telecom Network
PVC	Policloreto de Vinilo
PWM	Modulação por largura de pulso
QoS	Quality of Service
QAM	Quadrature amplitude modulation
RF	Rádio-Frequência
RTP	Real Time Protocol
rtPS	Real-Time Polling Service
RTSP	Real Time Streaming Protocol
SDP	Session Description Protocol
SECAM	Séquentiel Couleur avec Mémoire

SIM	Subscriber Identity Module
SIMO	Single Input Multiple Output
SINR	Signal to Interference plus Noise Ratio
SIP	Session Initiation Protocol
SISO	Single Input Single Output
SMS	Short Message Service
SNR	Signal Noise Relation
SOHO	Small Office/Home Office
SS	Subscriber Station
SSB	Modulação em banda lateral única
STP	Spanning Tree Protocol
TACS	Total Access Communication System
TCM	Trellis Modulation
TCP	Transmission Control Protocol
TDD	Time Division Duplex
TDMA	Time Division Multiple Access
TEK	Traffic Encryption Key
TV	Televisão
UDP	User Datagram Protocol
UGS	Unsolicited Grant Service
UHF	Ultra-High Frequency
UMTS	Universal Mobile Service
UTP	Unshielded Twisted Pair
UWB	Ultra Wide Broadband
VHF	Very-High Frequency
VLR	Visitor Location Register
VoIP	Voice over Internet Protocol
VPN	Virtual Private Network
VSF	Modulação de banda lateral vestigial
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access

Listas de símbolos

T	Período de amostragem
w_p	Frequência angular da portadora
Δw	Variação da frequência angular
θ_i	Fase do sinal de entrada
η	Eficiência espectral
\bar{x}	Média
μ	Média
α	Proporcionalidade
σ	Desvio padrão
λ	Comprimento de onda

Traduções úteis

Balanço de potências	<i>Link budget</i>
Camada	<i>Layer</i>
Débito	<i>Bit-rate</i>
Desvanecimento	<i>Fading</i>
Estação assinante	<i>Subscriber station (SS)</i>
Estação base	<i>Base station (BS)</i>
Multipercurso	<i>Multipath</i>
Perdas de percurso	<i>Path loss</i>
Sem fios	<i>Wireless</i>

Parte I

Conceitos introdutórios

Capítulo 1

Introdução aos sistemas de comunicações sem fios

1.1. Introdução

A definição de um sistema de comunicações sem fios pode-se cingir à transmissão de dados entre dois pontos sem recorrer a qualquer mecanismo para guiar uma onda electromagnética. A generalização das tecnologias sem fios aos vários dispositivos electrónicos não é mais do que o próximo passo lógico na evolução das telecomunicações. Isto não é uma tecnologia nova, muito pelo contrário. As transmissões rádio ocorrem há muitos anos. Um bom exemplo de quão velha é esta tecnologia é a transmissão televisiva que já ocorre à mais de setenta anos. As transmissões sem fios foram criadas, numa primeira fase, para fornecer informação sonora ou uma combinação de som e imagem a longas distâncias. Com o passar dos tempos apareceram novos meios de comunicação (primeira geração móvel, Internet, etc.). No entanto estas ainda estavam dependentes do uso de fios e eram muito caras e pouco eficazes. Nos dias de hoje estas limitações estão praticamente extintas, sendo possível a quaisquer indivíduos de países desenvolvidos comunicarem entre si através do uso de tecnologias sem fios.

Existem vários tipos de comunicações sem fios, dos quais se destacam os telemóveis, PDAs, GPS, etc. As comunicações sem fios podem ser realizadas via radiofrequência, microondas ou infravermelhos.

1.2. História^[1]

David Hughes, oito anos antes das experiências de Hertz, introduziu ondas electromagnéticas num sistema de sinalização. Em 1878 Hughes conseguiu transmitir código morse através de um aparelho de indução. Já em 1885, Edison utilizou um íman vibratório

para transmissão indutiva.

Na história das tecnologias sem fios, a demonstração da existência de ondas electromagnéticas de Rudolf Hertz em 1888 desempenhou um papel crucial. Esta mesma teoria fora predita por James Maxwell e Michael Faraday. Hertz demonstrou que as ondas electromagnéticas podiam ser transmitidas de forma a viajarem no espaço em linhas rectas, de forma a tornar possível a sua recepção por um aparelho experimental.

1.3. Espectro electromagnético

Luzes, cores, rádio AM e FM e diversos aparelhos electrónicos. O que têm em comum? Todos trabalham no espectro electromagnético. Em Portugal, as frequências disponíveis para comunicações são reguladas pela autoridade reguladora (ANACOM). São eles que determinam quais as bandas de frequência que podem ser usadas para um determinado propósito e por quem. Caso este tipo de controlo não existisse, seria o caos. Por exemplo, caso as companhias aéreas não tivessem frequências específicas para trabalhar, um rádio amador poderia interferir com a aterragem de um avião.

Infelizmente o espectro encontra-se bastante limitado actualmente. No entanto graças ao avanço tecnológico, tem-se vindo a tornar possível utilizar de forma mais eficiente o espectro atribuído. Veja-se por exemplo o caso da televisão digital, onde na mesma gama de frequências em que apenas se poderia transmitir um único canal na TV analógica, na TV digital é possível transmitir 4-6 canais.

1.4. Sistema de telecomunicações genérico

Na imagem seguinte encontram-se exemplificados os passos necessários para estabelecer uma ligação (telefónica, dados, etc.). A informação é enviada sob forma analógica, e deve ser recebida da mesma forma. No entanto ao longo do processo transmissão esta deve seguir um formato digital, daí recorrer-se a uma ADC e uma DAC. O sinal pelo meio deve ser codificado, modulado e multiplexado, ocorrendo depois o processo inverso.

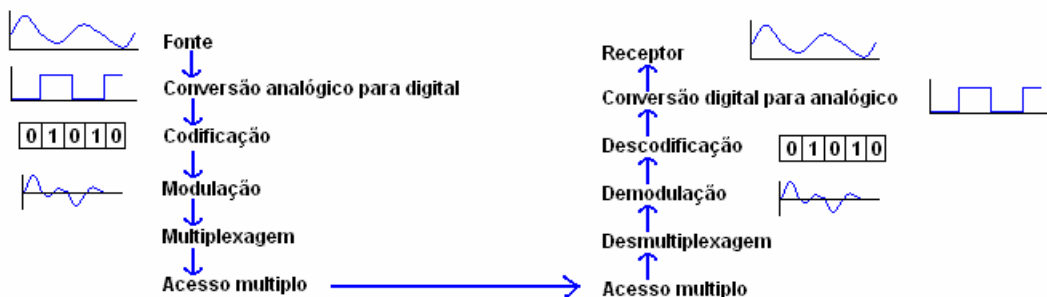


Figura 1.1: Sistema de blocos de um sistema de telecomunicações genérico

1.5. Sistemas de comunicações com fios - Linhas de transmissão^[2, 3]

O futuro não é necessariamente sem fios, antes pelo contrário! Quem acreditaria que o cabo viria a substituir algumas aplicações sem fios no futuro, como foi o caso da televisão? E por mais avanços que as tecnologias sem fios dêem, o mais provável é que a tecnologia óptica esteja sempre um passo à frente. As comunicações por fibra óptica e por cabo estão mais viradas para utilizadores fixos e permitem altos débitos, já as tecnologias sem fios, apesar de serem mais limitadas em termos de débito, possuem a grande vantagem de serem móveis e possibilitarem o estabelecimento de ligações em diversos pontos. Uma vez que as tecnologias sem fios não são as grandes tecnologias do momento em termos de performance, é útil ter umas noções básicas da tecnologia *wired* (com recurso a fios) antes de estudar as tecnologias sem fios a fundo. De seguida apresentam-se alguns tipos de ligações com fios:

1.5.1. *Twisted pair*

Twisted pair (ou par entrelaçado em português), é um fio no qual os condutores são enrolados à volta uns dos outros. Deste modo é possível reduzir (ou mesmo anular) as interferências vindas do exterior. Este sistema foi originalmente produzido para transmissão telefónica analógica, pelo que se pode aproveitar o facto de já existir um grande número de linhas instaladas, sendo aí onde reside a sua maior qualidade (ainda que parte da rede teve de ser recuperada, pois não permitia a transmissão digital).

A taxa de transmissão varia de acordo com as condições das linhas telefónicas utilizadas, podendo variar entre 300 a 115.000 bps.

O *twisted pair* é o tipo de cabo mais usado para ligar computadores em rede.

Existem dois tipos de cabos deste género:

- *Unshielded Twisted Pair* - **UTP** ou **Par Trançado sem Blindagem**: São quatro pares de fios entrelaçados e revestidos por uma capa de PVC. É o mais usado actualmente bem, como o mais barato.
- *Shield Twisted Pair* - **STP** ou **Par Trançado Blindado**: Difere do UTP na medida em que este possui uma blindagem feita com a malha do cabo, o que o protege mais que o UTP. É no entanto mais caro.

1.5.2. Cabo coaxial

Este tipo de cabo é constituído por diversas camadas de condutores e isolantes. O cabo coaxial é constituído por um fio de cobre condutor revestido por um material isolante e rodeado por uma blindagem. A blindagem proporciona-lhe uma boa protecção contra o fenómeno da indução, causada por interferências eléctricas ou magnéticas externas.

Estes cabos possibilitam transmissões da ordem dos GHz, bem como uma taxa de transmissão bastante elevada devido à tolerância ao ruído, graças à sua malha de protecção.

Estes cabos podem ser usados em diversas aplicações, desde ligações de áudio até ligações de redes de computadores, ou mesmo ligações de sinais de rádio frequência de rádio e TV.

1.5.3. Guias de onda

Um guia de onda é uma estrutura que guia ondas electromagnéticas, de luz ou de som. Existem diferentes tipos de guias consoante o tipo de onda:

→ Guia de ondas electromagnéticas – Dependendo da frequência estes guias podem ser construídos a partir de materiais condutivos ou dieléctricos, sendo usados com o intuito de transportar energia e sinais de comunicação. O guia de ondas de cobre tem, além da inevitável dispersão causada pela variação da velocidade de grupo com a frequência, uma atenuação elevada que aumenta com a frequência.

→ Guia de ondas ópticas – Estes guias são construídos a partir de um material dieléctrico com alta permissividade – e consequentemente um elevado índice de refração – envolvido por um material com menor permissividade. O mais comum destes guias é a fibra óptica.

→ Guia de ondas acústicas – Estes guias são uma estrutura física para guiar ondas sonoras

1.5.4. Cabos de fibra óptica

Os cabos de fibra óptica funcionam como um guia de luz, guiando a luz introduzida numa extremidade do cabo até à outra extremidade. A fonte de luz pode ser um díodo emissor de luz (LED) ou um laser.

A luz permite a transmissão de mais informação ao longo de largas distâncias do que os cabos de cobre ou os cabos coaxiais. O trunfo da fibra óptica reside essencialmente nas altas taxas de transmissão, mas igualmente importantes são os factos de possuir total imunidade às interferências electromagnéticas e de permitir a transmissão de sinais além de 100km sem amplificação. As vantagens da fibra óptica são essencialmente uma baixíssima atenuação (0.2dB/km ou menos) e uma reduzida dispersão (se operar em monomodo) o que permite, com a utilização de fontes de luz com boa qualidade espectral, o estabelecimento de ligações com muitas centenas de km a operar a vários Gb/s.

No entanto, apesar do cabo de fibra óptica oferecer tantas vantagens, o cabo mais utilizado continua a ser o de cobre pois há infra-estruturas ainda suficientes para muitas necessidades e também devido ao facto de enterrar linhas ser um investimento muito avultado. Outro factor é os elevados preços dos dispositivos ópticos e das ligações.

1.6. Sistemas celulares

1.6.1. Gerações^[4]

➤ 1ª geração - Redes Analógicas Móveis

- *Advanced Mobile Phone Service* (AMPS)
 - EUA (1978) e Japão (1979);
 - Ainda utilizado nos EUA;
- *Nordic Mobile Telephony* (NMT)
 - Suécia, Noruega, Dinamarca e Finlândia (1981);
 - Praticamente desactivo;
- *Total Access Communication System* (TACS)
 - Inglaterra (1985);
 - Praticamente desactivo;
- C-NET
 - Alemanha e Portugal (1989);
 - Praticamente desactivo;

➤ 2ª geração - Redes Digitais Móveis

- *Dual Mode AMPS* (DAMPS)
 - EUA;
- *Global System for Mobile Communication* (GSM)
 - Europa (1991);
- *Japanese Digital Cellular* (JDC)
 - Japão;

➤ 3ª geração – UMTS, CDMA 1.x

O UMTS (*Universal Mobile Telecommunications Systems*) foi normalizado pelo ITU e pelo ETSI em 1998. Com esta tecnologia os operadores podem oferecer um acesso de banda larga aos utilizadores móveis de (até) 2Mbit/s e passa também a ser possível transmitir som, imagem e vídeo em tempo real.

<u>Data</u>	<u>Mundo</u>	<u>GSM</u>	<u>GSM 3G</u>	<u>CDMA</u>	<u>CDMA 1X</u>	<u>US TDMA</u>	<u>Analógicos</u>	<u>Outros</u>
2001	935.3	627.1	-	113.0	-	93.6	43.6	56.8
2002	1129.8	787.5	-	142.7	-	109.2	30.0	60.1
2003	1382.9	1012.0	2.8	98.9	80.1	100.1	12.9	76.1
2004	1714.1	1296.0	16.3	87.4	131.9	90.0	9.2	83.3
2005	2177.1	1709.2	50.0	62.4	213.1	48.5	5.4	88.6
2006	2405.8	1941.6	74.7	37.0	225.0	26.1	4.5	96.8

Tabela 1.1: Estatística de utilizadores de telefonia móvel. Fonte: GSM World (Unidades – Milhões)

1.6.2. Conceito de célula

O conceito de célula foi inventado nos Bell Labs em finais da década de 50 e tem como finalidade dividir uma determinada área em subáreas, cada uma com a sua BTS. Cada subárea é uma célula e o seu tamanho é variável (mais utilizadores requerem uma célula mais pequena), atingindo um raio máximo de aproximadamente 35 km (variável de acordo com a tecnologia em uso). A potência da BTS varia com o tamanho da célula, pois uma célula maior requer maior potência de modo a obter um maior alcance. Os obstáculos que se encontrem dentro da célula também influenciam a potência.

Uma célula é tipicamente representada por um hexágono de modo a facilitar o desenho do projecto, mas na realidade a sua forma é mais redonda e irregular dependendo dos obstáculos naturais, criados pelo homem e naturalmente das antenas usadas. Em GSM efectua-se a reutilização de frequências (mais detalhe sobre reutilização de frequências no capítulo 7), i.e., de modo a obter o máximo uso do espectro disponível, utilizamos a mesma frequência em células diferentes (desde que as células estejam suficientemente afastadas, a uma distância mínima D entre os seus centros). Na imagem seguinte pode ver-se uma rede celular com sete frequências diferentes (de F1 a F7), onde se pode verificar que as várias frequências disponíveis se repetem em células não vizinhas num arranjo com várias alternativas. Também se pode observar células mais pequenas que outras quando existe um maior número de utilizadores a residir nessas células mais pequenas.

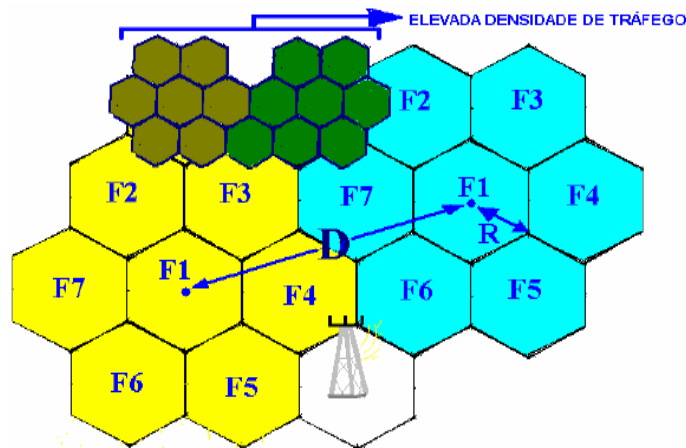


Figura 1.2: Conceito de célula

1.6.3. GSM^[5, 6, 34]

No início dos anos 80 a Europa estava a passar por um elevado crescimento na área da telefonia móvel. O problema é que cada país estava a desenvolver o seu próprio sistema, sendo que todos os sistemas eram incompatíveis uns com os outros. Foi então criado em 1982 o grupo GSM, que na altura significava *Groupe Spécial Mobile* com o objectivo de criar um

sistema de qualidade, com baixo custo e compatibilidade internacional. Os primeiros serviços comerciais começaram em 1991 com um grande sucesso, tendo sido implementados não só na Europa, mas também na Austrália e África do Sul. Actualmente o acrónimo GSM significa *Global System for Mobile Telecommunications*.

As principais funções do GSM são as comunicações por chamadas telefónicas, SMS (mensagens de texto) e transferência de dados, podendo para este último atingir débitos de 300bps, 600bps, 1200bps, 2400bps e 9600bps.

Um dos aspectos positivos do GSM passa também pelo *handover* (significa a passagem, em termos geográficos, de uma célula para a outra, por exemplo quando estamos a viajar). Utilizando tecnologia GSM, um indivíduo que esteja a telefonar e transite de célula, fá-lo sem sequer se aperceber de tal.

No sistema GSM 900, a estação móvel transmite na gama dos [890-915]MHz e a BTS transmite na gama [935-960]MHz, estando as portadoras espaçadas de 200kHz. Já no sistema GSM 1800, a estação móvel transmite na gama [1710-1785]MHz enquanto a BTS transmite na gama [1805-1880]MHz, estando os canais igualmente espaçados de 200kHz.

O método utilizado pelo GSM para gerir as frequências e acomodar os vários utilizadores é uma combinação de TDMA e FDMA (mais detalhe no capítulo 3). O FDMA divide os 25MHz de frequência disponíveis em 124 canais com uma largura de 200kHz cada (ficando um canal reservado para banda de guarda). Em cada frequência o TDMA divide o tempo em 8 *time slots* de 577µs cada.

O GSM é o sistema mais usado no mundo. A sua arquitectura é a seguinte:

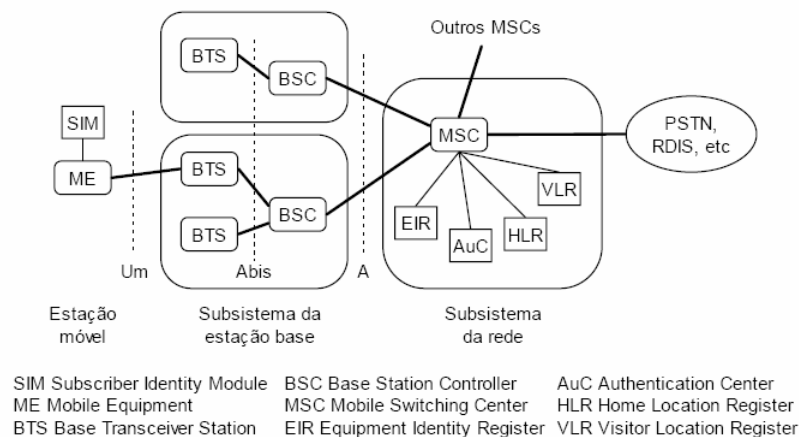


Figura 1.3: Arquitectura GSM[34]

A estação móvel (**MS**, *Mobile Station*) é constituída pelo equipamento móvel (**ME**, *Mobile Equipment*) e por um cartão inteligente (**SIM**, *Subscriber Identity Module*). O cartão **SIM** contém os dados associados ao número de telefone, possibilitando o acesso aos serviços de rede independentemente do equipamento móvel utilizado. A ligação de rádio entre a estação móvel e o subsistema da estação base (**BSS**) é denominada interface Um.

O subsistema da estação base é composto por duas partes: as estações base (**BTS**, *Base Transceiver Station*) e os controladores de estação base (**BSC**, *Base Station Controller*). Os

controladores de estação base (**BSC**) comunicam com a central de comutação móvel (**MSC**, *Mobile Switching Center*), situada no subsistema de rede (**NS**), através da interface A.

A central de comutação móvel (**MSC**) é responsável pela comutação das chamadas dos utilizadores e pelas funcionalidades de gestão das subscrições das estações móveis. Alguns **MSCs** também efectuem a ligação da rede GSM à rede fixa. O encaminhamento das chamadas dos utilizadores na rede GSM é realizado com o auxílio dos registos **HLR** (*Home Location Register*) e **VLR** (*Visitor Location Register*), que armazenam informação administrativa dos utilizadores, incluindo a localização actual da estação móvel.

1.6.4. EDGE^[7, 8]

Significa *Enhanced Data rates for GSM Evolution*. Não é mais que uma versão melhorada do GSM, pois o EDGE consegue atingir taxas de transmissão da ordem dos 384kbps e utiliza a mesma estrutura TDMA e portadoras de 200KHz do GSM.

Apesar de ser uma melhoria do sistema GSM, as estações base têm de ser modificadas e o terminal móvel tem de ser compatível com esta tecnologia.

1.6.5. HSDPA^[7, 8]

Significa *High Speed Downlink Packet Access*. O HSDPA é um protocolo da tecnologia HSPA que possibilita às redes UMTS atingir débitos de 1.8, 3.6, 7.2 e 14.4 Mbit/s. Tem como inconveniente o facto de necessitar um dispositivo móvel compatível com a tecnologia. É também conhecido como 3.5G, na medida em que é encarado como uma versão melhorada da tecnologia 3G.

1.6.6. DVB e televisão digital^[10, 11]

É a abreviatura de *Digital Video Broadcasting*. Resulta do esforço conjunto de um consórcio formado por diversos operadores de telecomunicações, reguladores, produtores, etc., cuja finalidade é definir normas para a difusão de alta qualidade (até HDTV). O objectivo passa por transmitir não só para as tradicionais televisões, mas também para PCs e dispositivos móveis.

A televisão digital visa alterar radicalmente a forma como interagimos com a televisão. Em vez de ser um sujeito passivo, o espectador passa a interagir com a televisão: desde poder ver os programas desejados à hora pretendida em vez de o fazer a uma hora pré-definida pelo operador, passando pela possibilidade de votar ou exprimir opiniões num determinado programa até poder fazer compras *online*.

A televisão digital faz um melhor uso do espectro, tem uma maior robustez a erros e melhor qualidade de som e imagem (a imagem passa das tradicionais 480 linhas para 720 ou

1080 para HDTV e o som do 2.0 *stereo* para 5.1 *dolby digital*), recorrendo à codificação MPEG-2.

As principais soluções de TV digital actualmente existentes são:

- *Digital Video Broadcasting* (DVB) - Patrocínio Europeu
- *Advanced Television Systems Committee* (ATSC) - Patrocínio EUA
- *Integrated Services Digital Broadcasting* (ISDB) – Patrocínio Japonês

Neste momento, a maioria dos países ainda opera somente em analógico, co-existindo no mundo três formatos: NTSC, PAL e SECAM. Existem várias vertentes do DVB:

- Satélite: DVB-S, DVB-S2
- Cabo: DVB-C
- Terrestre: DVB-T
- Portátil: DVB-H

Cujas modulações variam da seguinte forma:

- DVB-S - QPSK (baixa SNR e elevada banda disponível);
- DVB-S2 – QPSK, 8PSK, 16APSK, 32APSK (*Asymmetric PSK, ou Amplitude PSK*);
- DVB-C – Essencialmente 64-QAM;
- DVB-T e DVB-H - OFDM baseada em modulação QPSK ou QAM;

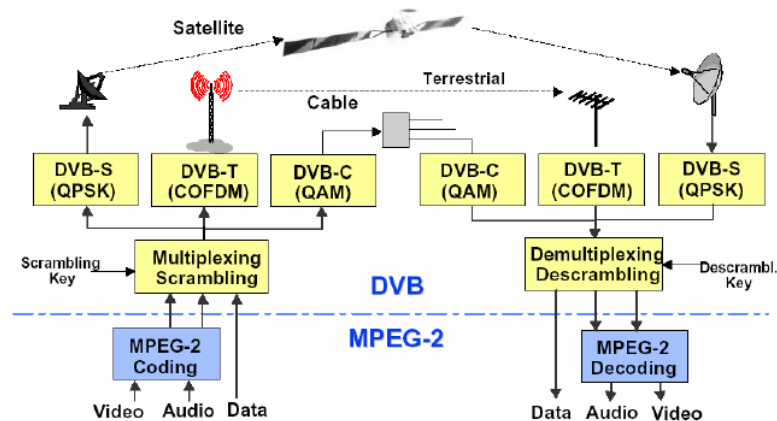


Figura 1.4: Sistemas DVB[10]

1.6.7. Wi-Fi^[1, 24]

Wi-Fi (*Wireless Fidelity*), ou em alternativa IEEE 802.11, também conhecido *por wireless LAN*, não é mais que uma rede local sem fios. Esta tecnologia é utilizada para diversos fins, entre os quais se destacam o VoIP e o acesso à Internet. Para aceder à Internet por Wi-Fi, tudo o que precisamos é do equipamento (normalmente uma placa *wireless*) e estarmos localizados numa zona abrangida por Wi-Fi (normalmente um *hotspot*).

A sua principal vantagem é obviamente a mobilidade. O simples facto de ser sem fios significa liberdade. Liberdade para deslocar-se ou para “ligar-se” sem nunca ter de recorrer a infra-estruturas fixas de difícil adaptabilidade a novas situações.

Obviamente que também existem inúmeras desvantagens, tais como por exemplo, o facto das frequências de funcionamento diferirem de país para país, o consumo de energia ser muito elevado e os níveis de segurança serem baixos.

Existem várias versões do IEEE 802.11, das quais destacam-se:

- 802.11b – É a versão mais antiga. Transmite na faixa dos 2.4 GHz e suporta taxas de transmissão máximas de 11 Mbps. Utiliza codificação CCK (Complimentary Code Keying).
- 802.11g – Também transmite na faixa dos 2.4 GHz, mas suporta débitos máximos de 54 Mbps, muito em parte graças ao uso do OFDM.
- 802.11a – Igual à 802.11g, mas funciona na faixa dos 5GHz.

	Frequências	Técnica de Modulação	Débito
802.11b	2400-2483,5 MHz	DSSS	até 11 Mbit/s
802.11g		DSSS, OFDM	até 54 Mbit/s
802.11a	5150-5350 MHz 5470-5725 MHz 5725-5850 MHz	OFDM	até 54 Mbit/s

Tabela 1.2: Características da tecnologia Wi-Fi[24]

Capítulo 2

Modelos de propagação para planeamento de uma rede celular

2.1. Ondas e Propagação^[23]

O meio de comunicação é adverso para a comunicação. Entre as suas repercussões nos sinais transmitidos por sistemas de comunicações sem fios podem-se mencionar as seguintes:

- Decaimento da intensidade do sinal: depende de muitos factores, entre os quais obstruções, terreno e a frequência da onda portadora;
- Bloqueio do sinal causado por grandes obstruções: este decaimento acentuado de intensidade, conhecido como *shadowing*, é ainda mais severo do que o decaimento usual da transmissão;
- Largas variações no sinal recebido: o sinal propagado é reflectido e/ou refractado diversas vezes até chegar ao receptor. Isto faz com que chegue segundo percursos muito diversos, o que causa variações significativas de amplitude;
- Interferência inter-símbolos: num ambiente multipercurso, o atraso de transmissão dos símbolos pode fazer com que estes cheguem ao receptor durante o período do símbolo seguinte, causando interferência. Quando se trata de transmissões de alto débito, isto torna-se ainda mais complicado, visto que o tempo de existência de cada símbolo é menor;
- Dispersão de frequência: quando o receptor e o emissor estão em movimento relativo, a frequência da onda portadora sofre dispersão (efeito Doppler);

2.1.1. Perdas de percurso^[23, 24]

É a atenuação sofrida por uma onda electromagnética entre o emissor e o receptor durante a transmissão. Além da intrínseca diminuição com a distância, devem ser consideradas outras causas: difracção, refacção, reflexão, absorção, etc.

As perdas na ligação em espaço livre podem ser dadas pela equação:

$$\frac{P_R}{P_T} = G_T G_R \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$
$$L_F = 10 \log \left(\frac{P_R}{P_T} \right) = 10 \log G_T + 10 \log G_R - 20 \log f - 20 \log d + 20 \log \left(\frac{c}{4\pi} \right) \quad \text{Eq. 2.1}$$

O balanço de potências relaciona todos os ganhos e perdas ao longo de um meio de transmissão num sistema de telecomunicações. A relação (em dBs) é a seguinte:

$$P_R = P_T + G_T + G_R - L_T - L_{FS} - L_M - L_R \quad \text{Eq. 2.2}$$

Onde

- P_R – Potência recebida (dBm)
- P_T – Potência transmitida (dBm)
- G_T – Ganho da antena transmissora (dBi)
- G_R – Ganho da antena receptora (dBi)
- L_T – Perdas do transmissor (dB)
- L_R – Perdas do receptor (dB)
- L_{FS} – Perdas em espaço livre (dB)
- L_M – Perdas diversas (p.e. devido à chuva) (dB)

2.1.2. Multipercurso^[23, 24]

Uma onda transmitida pode chegar ao destino por vários caminhos em simultâneo, especialmente se não houver LOS. Quando isto ocorre estamos na presença de multipercurso.

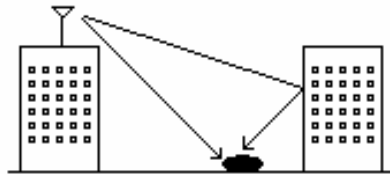


Figura 2.1: Multipercurso

Isto acontece quando a onda encontra um obstáculo sendo que neste caso uma de duas coisas ocorre:

- Reflexão;
- Refracção;

Associado ao multipercurso temos dois tipos de desvanecimento:

Desvanecimento Rice

Ocorre quando vários sinais chegam ao destino através de multipercurso e a intensidade de um deles é muito superior à dos outros (normalmente um dos sinais foi transmitido com LOS). O ganho é neste caso caracterizado por uma distribuição de Rice (consultar apêndice para mais informação).

Desvanecimento Rayleigh

Ocorre quando vários sinais chegam ao destino através de multipercurso, tendo todos eles características similares. O ganho é neste caso caracterizado por uma distribuição de Rayleigh (consultar apêndice para mais informação).

2.1.3. Modelos Estatísticos^[41]

O modelo de canal mais simplificado (e optimista) em que se pode pensar para a propagação terrestre é AWGN (*additive white gaussian noise*). Como o seu nome sugere, o meio de espaço livre iria apenas adicionar ao sinal algum ruído branco. Apenas um parâmetro de propagação (densidade espectral de potência $N_0/2$ (watts/Hz)) teria que ser estimado. Infelizmente, a AWGN não é um modelo preciso para descrever os canais reais.

Para calcular as perdas do sinal os modelos são basicamente classificados em modelos físicos ou empíricos. Os modelos físicos são assim denominados porque levam em conta a especificidade física exacta da propagação, incluindo edifícios, árvores e outros. Tratam-se dos modelos mais precisos e podem ser apropriados para descrever a propagação dentro de um campo ou região delimitada. Contudo, são também computacionalmente intensos e para áreas maiores preferem-se os modelos estatísticos que apesar de mais imprecisos, são também mais fáceis de descrever. Nesta abordagem efectua-se algumas medições no terreno (topografia, distância de propagação,...) e fazem-se estimativas para as perdas de percurso médias e para as variações locais (*shadowing* e desvanecimento). A soma dessas perdas corresponde à aproximação estatística para as perdas no terreno.

A distância de propagação é tida em conta pela inclusão do parâmetro distância r e a influência do meio vem como expoente das perdas de percurso n . A potência transmitida P_T relaciona-se com a recebida P_R por

$$\frac{P_R}{P_T} = \frac{\beta_0}{r^n} \quad \text{Eq. 2.3}$$

Se n for 2 temos o decaimento em espaço livre. Contudo, se o meio for mais hostil n é habitualmente superior. Os valores recomendados para uma região rural são 3-3.5 enquanto que, numa região urbana, se situam entre 4-4.5. As obstruções devido a edifícios levam n a variar entre 4 e 6.

É comum expressar as perdas de percurso médias em dB:

$$L_p = \beta_0 + 10n \log \frac{r}{r_o} \quad \text{Eq. 2.4}$$

, onde β_0 é a perda medida à distância r_o .

2.1.3.1. *Shadowing*^[24]

Shadowing (efeito-sombra em português) deve-se à presença de edifícios e vegetação na área da célula revelado no movimento lento do terminal em relação a estes objectos distantes. É descrito por uma distribuição log-normal (consultar apêndice para mais informação).

No caso de haver LOS e as réplicas terem uma contribuição muito baixa, uma distribuição log-normal modela a situação devidamente. Neste caso particular se μ é o valor médio das atenuações do percurso (em dB) a uma distância r do transmissor, então a distribuição x_{dB} das perdas de percurso observadas a esta distância tem uma PDF (*probability density function*) dada por:

$$fR(x_{dB}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{dB}}} e^{-(x_{dB}-\mu)/2\sigma^2} \quad \text{Eq. 2.5}$$

em que valores típicos do desvio padrão σ_{dB} variam entre 5 e 12 dB.

Na prática o *shadowing* traduz-se na necessidade de incluir uma margem para potência transmitida no balanço de potências. Em termos de planeamento celular para uma igual probabilidade de cobertura a célula *shadowed* terá que ter um raio menor que uma célula não *shadowed*.

2.1.3.2. Desvanecimento^[24, 25]

O desvanecimento é causado pela interferência construtiva e destrutiva de ondas que sofrem multipercurso e ocorre quando há movimento relativo e multipercurso. De facto, numa distância relativamente grande do transmissor, as amplitudes multipercurso recebidas não variam significativamente. No entanto, quando os comprimentos de onda são pequenos comparados com a distância (como é normal) as variações de fase são altamente sensíveis às variações pequenas de posição. Relembrando que o sinal recebido é a soma de todas as

componentes multipercurso, podemos perceber que os sinais são distorcidos facilmente. No contexto veicular às vezes bastam movimentos de fracções de metro para notar atenuações elevadas ou ganhos do sinal. Trata-se, pois, de uma consequência directa do efeito de Doppler. A figura seguinte ilustra o movimento de um terminal móvel no domínio do tempo com $f = 900\text{MHz}$ a $V = 3\text{km/h}$ e $V = 120\text{km/h}$. Podem-se ver atenuações rápidas em torno de um valor mediano e que essas atenuações são tanto maiores quanto maior a velocidade relativa. Basicamente, se se mover o móvel mesmo que devagar nota-se logo variação de amplitude. Se se mover depressa essas variações são mais rápidas. Mover o móvel depressa introduz Doppler, ou seja, dispersão na frequência.

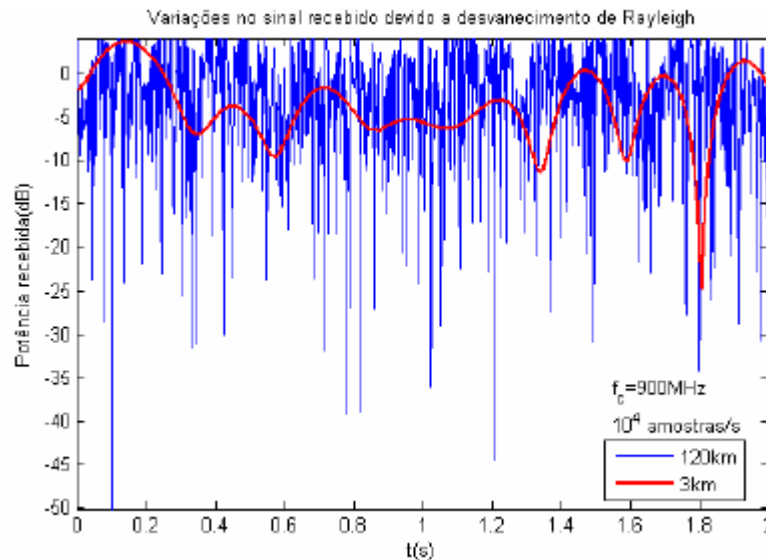


Figura 2.2: Desvanecimento

Período e largura de banda de coerência

O conhecimento do tipo de desvanecimentos do canal é fundamental para o engenheiro de telecomunicações, uma vez que só assim se conseguem projectar técnicas mitigadoras eficazes. Mas para isso é também importante definirem-se dois parâmetros de design que quantifiquem o espalhamento do canal no tempo e na frequência:

Tempo de Coerência (TC) – separação temporal para a qual duas amostras estão descorrelacionadas.

Banda de Coerência (BC) – separação na frequência para a qual o sinal recebido deixa de estar descorrelacionado.

Estes parâmetros obtêm-se a partir da correlação da amplitude do sinal recebido (no tempo ou na frequência). Com estes resultados pode-se saber se um determinado sinal "verá" o canal como plano ou selectivo, quer no domínio da frequência quer no domínio do tempo.

Condição	Verdadeiro	Falso
$1/\text{débito} < TC$	Desvanecimento lento	Desvanecimento rápido
$LB_{\text{signal}} < BC$	Flat na frequência	Selectivo na frequência

Tabela 2.1: Tipos de desvanecimento[24]

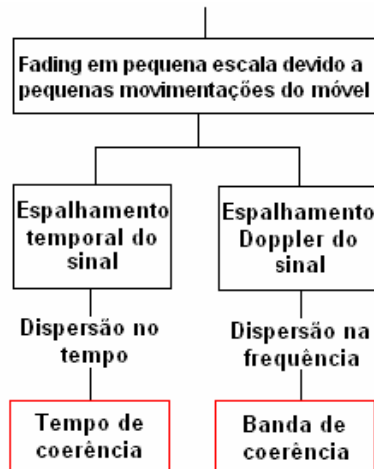


Figura 2.3: O período e largura de banda de coerência são usados para quantificar o efeito do canal

Na seguinte imagem pode-se verificar o efeito do canal decomposto em desvanecimento (*fading*), shadowing e perdas de percurso (*pathloss*):

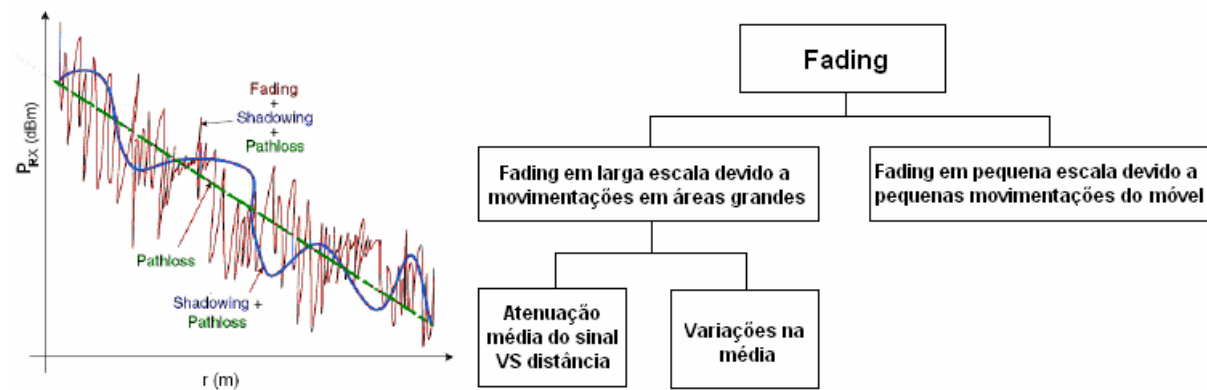


Figura 2.4: Efeito do canal decomposto em três componentes

2.1.4. Modelos de propagação^[24, 41]

No planeamento da cobertura de uma rede celular existem vários factores a ter em conta. É necessário saber a amplitude do sinal na área a cobrir. Para prever a intensidade do sinal num dado local, é necessário realizar estimativas do valor mediano e da variação em torno deste. É igualmente necessário avaliar a interferência e a correlação do sinal recebido de duas células distintas vizinhas. Estes modelos permitem gerir melhor o espectro de frequências e efectuar o adequado dimensionamento das células.

Para realizar o planeamento celular utilizam-se modelos de propagação. Existem inúmeros modelos, sendo uns mais apropriados para zonas rurais e outros para zonas urbanas. Os modelos de propagação dividem-se em duas grandes categorias: os modelos **empíricos**, que são baseados em medidas, e conduzem a relações simples entre a atenuação e a distância e os modelos **teóricos**, que requerem a utilização de bases de dados topográficas.

Para realizar o planeamento de uma rede celular é necessário possuir conhecimento prévio de todos os factores que influenciam a propagação do sinal. O sinal está normalmente sujeito a dois tipos de desvanecimento:

- Lento, dependente essencialmente da distância, com distribuição log-normal
- Rápido, associado ao movimento do terminal e devido ao multipercurso, com distribuição de Rice.

Os modelos empíricos:

- Conduzem a previsões que melhor se ajustam às medidas;
- Têm a vantagem de contabilizar todos os factores que afectam a propagação;
- Necessitam de ser sujeitos a validação para locais, frequências e condições diferentes de ambientes de medida.

Os modelos teóricos:

- Não têm em consideração o ambiente em que o móvel se desloca;
- Permitem uma fácil alteração para outros valores dos parâmetros;
- Dependem da definição de bases de dados geográficas.

Uma vez que tanto os modelos teóricos como os empíricos possuem vantagens e desvantagens, os modelos usados actualmente são **modelos híbridos** que contemplam as perspectivas empírica e teórica.

No planeamento de cobertura deve-se levar em consideração diversos parâmetros, tais como a topografia do terreno, a densidade da vegetação, a densidade e altura dos edifícios, a existência de áreas abertas ou a existência de superfícies aquáticas.

Um bom exemplo da importância destes parâmetros é o facto de, por exemplo, os edifícios provocarem a existência de numerosos raios reflectidos, causando desvanecimento. Ainda outro exemplo é que a existência de ruas conduz a fenómenos de propagação guiada, com características diferentes nas ruas radiais e nas circunferenciais (caso particular dos modelos físicos).

2.1.4.1. Modelo de Hata-Okumura^[24, 26, 27, 41]

O modelo de Hata-Okumura foi inicialmente descrito por Yoshihisa Okumura em 1968 na sua publicação “*Field Strength and Its Variability in VHF and UHF Land-Mobile Radio Service*”. Em 1980, Masaharu Hata simplificou as considerações de Okumura (“*Empirical formula for propagation loss in Land Mobile Radio Services*”). Estas simplificações levaram à restrição de que apenas regiões com uma distância inferior a 20km em relação ao emissor poderiam ser previstas.

Tal como tudo nas telecomunicações, este modelo possui vantagens e desvantagens. A sua grande vantagem reside no facto de apenas serem necessários quatro parâmetros, o que faz com que o tempo de processamento computacional seja relativamente curto. A grande desvantagem é que o modelo não leva em conta a reflexão, bem como o perfil do terreno entre o transmissor e o receptor, isto é, montanhas ou outros obstáculos entre o transmissor e o receptor não são levados em consideração. Isto ficou a dever-se ao facto de Hata e Okumura terem assumido que o transmissor seria colocado no topo da montanha.

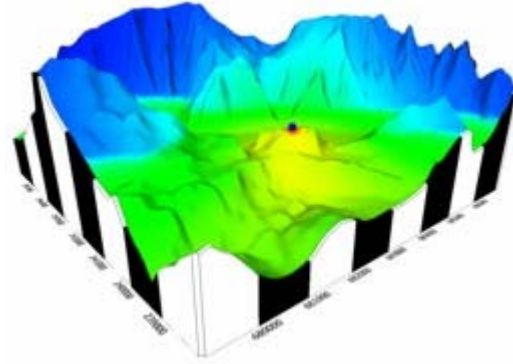


Figura 2.5: Cobertura do modelo Hata-Okumura com a estação base ao centro[41]

Devido às suas limitações o modelo acaba por se tornar mais adequado a zonas rurais.

Os quatro parâmetros e os seus respectivos limites são:

- Frequência f (150...1500 MHz)
- Distância entre o transmissor e o receptor d (1...20 km)
- Altura da antena do transmissor h_{TX} (30...200 m)
- Altura da antena do receptor h_{RX} (1...10 m)

Uma vez que as alturas das antenas do transmissor e do receptor são medidas relativamente ao solo, uma altura adicionada, h_{eff} (de *effective antenna*) é considerada para medidas de cálculo (ver figura ao lado).

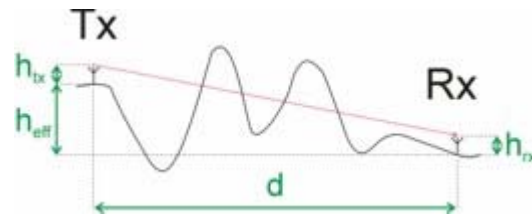


Figura 2.6: Parâmetros do modelo Hata-Okumura[41]

Na figura, a verde estão os parâmetros do modelo Hata-Okumura. Neste exemplo a previsão é bastante pessimista, pois o modelo assume LOS (line of sight), mas o caminho está obstruído por dois montes.

As seguintes equações permitem calcular as perdas de percurso (em dB) com o modelo de Hata-Okumura:

$$a = 69.55 + 26.16 \cdot \log\left(\frac{f}{\text{MHz}}\right) - 13.82 \cdot \log\left(\frac{h_{eff}}{m}\right) - \frac{c(h_r)}{dB} + \left(44.9 - 6.55 \cdot \log\left(\frac{h_{eff}}{m}\right)\right) \cdot \log\left(\frac{d}{km}\right) \quad \text{Eq. 2.6}$$

$$c(h_r) = \begin{cases} \left(1.1 \cdot \log\left(\frac{f}{\text{MHz}}\right) - 0.7\right) \cdot \frac{h_r}{m} - \left(1.56 \cdot \log\left(\frac{f}{\text{MHz}}\right) - 0.8\right), & \text{suburbano} \\ 8.29 \cdot \left(\log\left(1.54 \cdot \frac{h_r}{m}\right)\right)^2 - 1.1, & \text{urbano com } f < 200\text{MHz} \\ 3.2 \cdot \left(\log\left(11.75 \cdot \frac{h_r}{m}\right)\right)^2 - 4.97, & \text{urbano com } f < 400\text{MHz} \end{cases} \quad \text{Eq. 2.7}$$

$$a_{rural} = \frac{a}{dB} - 2 \cdot \left(\log\left(\frac{f/28}{\text{MHz}}\right)\right)^2 - 5.4 \quad \text{Eq. 2.8}$$

$$a_{open} = \frac{a}{dB} - 4.78 \cdot \left(\log\left(\frac{f}{\text{MHz}}\right)\right)^2 + 18.33 \cdot \log\left(\frac{f}{\text{MHz}}\right) - 40.94 \quad \text{Eq. 2.9}$$

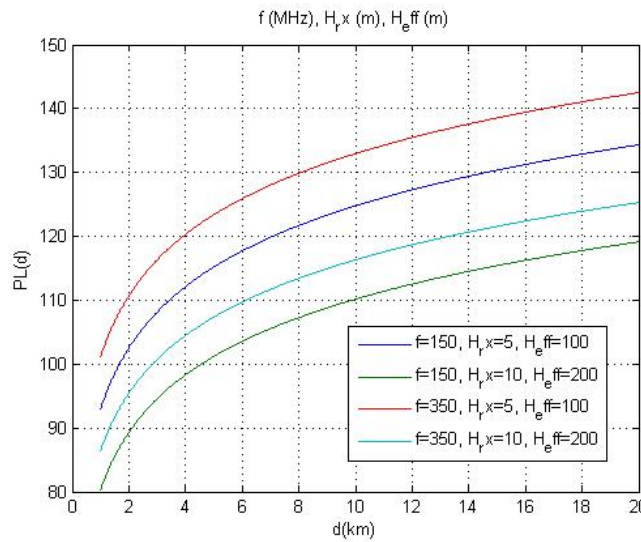


Figura 2.7: Perdas de percurso em função da distância em ambiente suburbano

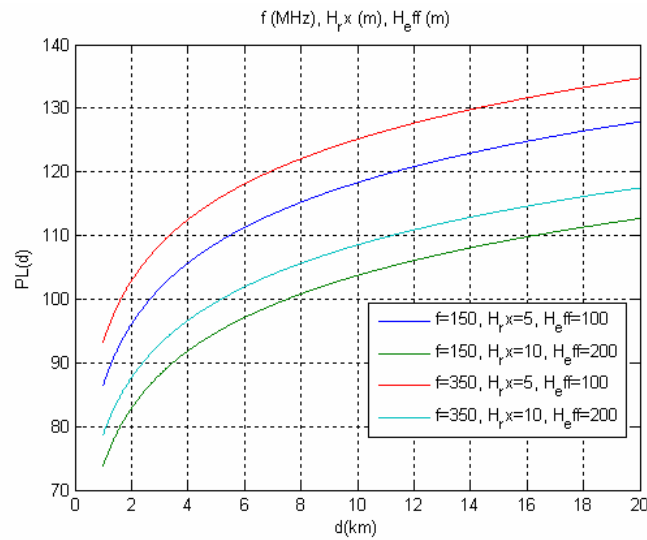


Figura 2.8: Perdas de percurso em função da distância em ambiente rural

2.1.4.2. Modelo COST 231 Walfisch-Ikegami^[24, 26, 27, 41]

Este modelo empírico é uma combinação dos modelos de J. Walfisch e de F. Ikegami, tendo sido entretanto desenvolvido no âmbito do projecto COST 231, daí o seu nome “*Empirical COST-Walfisch-Ikegami Model*”. Este é um bom modelo para zonas urbanas.

O modelo leva em consideração os edifícios no plano vertical, entre o transmissor e o receptor. A precisão do modelo é considerada bastante boa já que leva em consideração as múltiplas difracções num ambiente com diversos edifícios.

Os principais parâmetros deste modelo são:

- Frequência f (800...2000 MHz)
- Altura do transmissor h_{Base} (4...50 m)
- Altura do receptor h_{Mobile} (1...3 m)
- Distância entre o transmissor e o receptor d (20...5000 m)

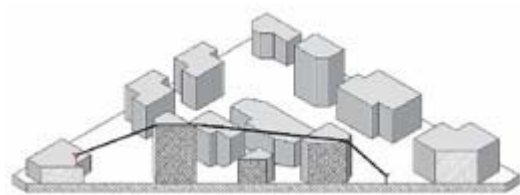


Figura 2.9: Modelo COST 231 Walfisch-Ikegami^[41]

Os parâmetros dos edifícios no plano vertical entre o receptor e o transmissor são:

- Altura média dos edifícios h_{ROOF}
- Média do comprimento das ruas w
- Espaçamento médio entre edifícios b

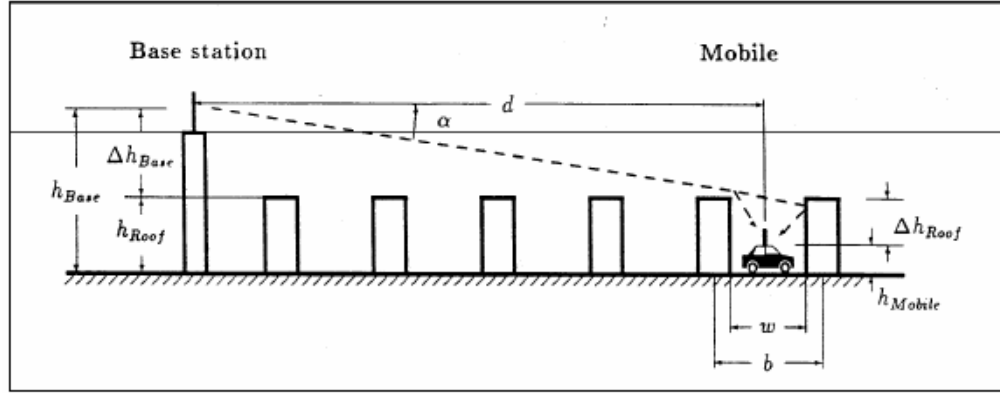


Figura 2.10: Aplicação dos parâmetros ao modelo COST 231 Walfisch-Ikegami

Na ausência de dados concretos, são recomendados os seguintes valores:

$$b \in [20, 50]m$$

$$w = \frac{b}{2}$$

$$h_{Roof} = 3m \cdot \{n^{\circ} \text{ de pisos}\} + h_{telhado}$$

$$h_{telhado} = \begin{cases} 3m, & \text{se inclinado} \\ 0, & \text{se plano} \end{cases}$$

$\varphi = 90^{\circ}$, em que φ representa o ângulo de incidência da onda.

As seguintes equações permitem calcular as perdas de percurso (em dB) com este modelo:

Com LOS (*Line Of Sight*):

$$L_b = 42.6 + 26 \cdot \log\left(\frac{d}{km}\right) + 20 \cdot \log\left(\frac{f}{MHz}\right), \text{ para } d > 20m \quad \text{Eq. 2.10}$$

Com NLOS (*No Line Of Sight*):

$$L_b = \begin{cases} L_0 + L_{rts} + L_{msd}, & L_{rts} + L_{msd} > 0 \\ L_0, & L_{rts} + L_{msd} \leq 0 \end{cases} \quad \text{Eq. 2.11}$$

$$L_0 = 32.4 + 20 \cdot \log\left(\frac{d}{km}\right) + 20 \cdot \log\left(\frac{f}{MHz}\right) \quad \text{Eq. 2.12}$$

Onde:

$$L_{rts} = -16.9 - 10 \cdot \log\left(\frac{w}{m}\right) + 10 \cdot \log\left(\frac{f}{MHz}\right) + 20 \cdot \log\left(\frac{\Delta h_{Mobile}}{m}\right) + L_{ori} \quad \text{Eq. 2.13}$$

$$L_{ori} = \begin{cases} -10 + 0.354 \cdot \varphi, & 0 \leq \varphi \leq 35^\circ \\ 2.5 + 0.075 \cdot (\varphi - 35), & 35 \leq \varphi \leq 55^\circ \\ 4 - 0.114 \cdot (\varphi - 55), & 55 \leq \varphi \leq 90^\circ \end{cases} \quad \text{Eq. 2.14}$$

$$\Delta h_{Mobile} = h_{Roof} - h_{Mobile} \quad \text{Eq. 2.15}$$

$$\Delta h_{Base} = h_{Base} - h_{Roof} \quad \text{Eq. 2.16}$$

$$L_{msd} = L_{bsh} + k_a + k_d \cdot \log\left(\frac{d}{km}\right) + k_f \cdot \log\left(\frac{f}{MHz}\right) - 9 \cdot \log\left(\frac{b}{m}\right) \quad \text{Eq. 2.17}$$

$$L_{bsh} = \begin{cases} -18 \cdot \log\left(1 + \frac{\Delta h_{Base}}{m}\right), & h_{Base} > h_{Roof} \\ 0, & h_{Base} \leq h_{Roof} \end{cases} \quad \text{Eq. 2.18}$$

$$k_d = \begin{cases} 18, & h_{Base} > h_{Roof} \\ 18 - 15 \cdot \frac{\Delta h_{Base}}{h_{Roof}}, & h_{Base} \leq h_{Roof} \end{cases} \quad \text{Eq. 2.19}$$

$$k_a = \begin{cases} 54, & h_{Base} > h_{Roof} \\ 54 - 0.8 \cdot \frac{\Delta h_{Base}}{m}, & d \geq 0.5km \text{ e } h_{Base} \leq h_{Roof} \\ 54 - 0.8 \cdot \frac{d_{[km]}}{0.5}, & d < 0.5km \text{ e } h_{Base} \leq h_{Roof} \end{cases} \quad \text{Eq. 2.20}$$

$$k_f = -4 + \begin{cases} 0.7 \cdot \left(\frac{f_{[MHz]}}{925} - 1\right), & \text{para cidades medias e centros suburbanos} \\ 1.5 \cdot \left(\frac{f_{[MHz]}}{925} - 1\right), & \text{para centros urbanos} \end{cases} \quad \text{Eq. 2.21}$$

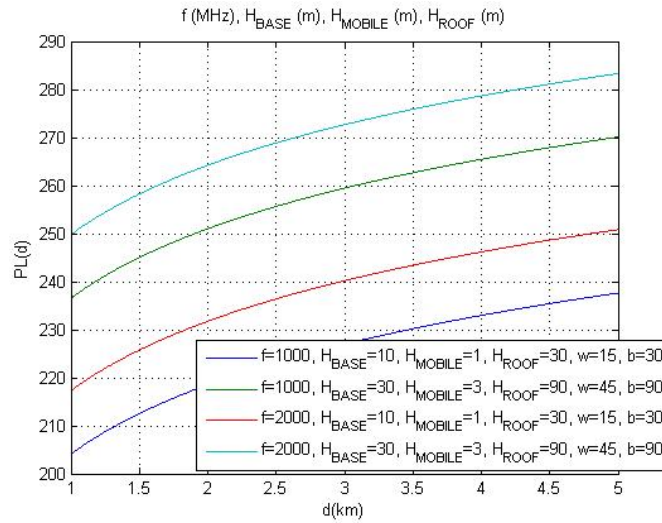


Figura 2.11: Perdas de percurso em função da distância com NLOS em centro urbano

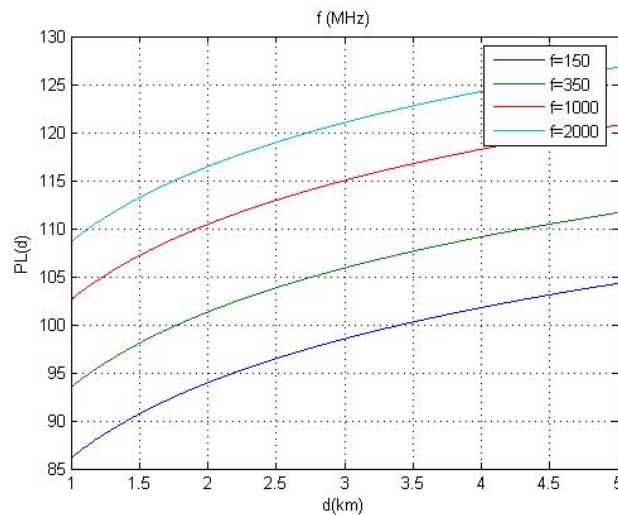


Figura 2.12: Perdas de percurso em função da distância com LOS em centro urbano

2.1.4.3. ITU-R 525^[42]

O ITU-R 525, é um modelo geométrico ou determinístico, que fornece uma estimativa de cobertura directamente derivada dos perfis ao longo do percurso e utiliza as propriedades da geometria de Fresnel. Os modelos geométricos só são possíveis de aplicar quando se dispõe de informação DEM (*Digital Elevation Model*) e permitem entrar em linha de conta com correcções devidas a fenómenos de difracção. Quando utilizado em conjunto com o modelo de difracção Deygout os resultados do ITU-R 525 são bastante precisos.

A implementação do modelo de propagação é feita da seguinte forma:

Cálculo da intensidade de campo no local de recepção (E):

A intensidade de campo electromagnético no local de recepção é obtida da seguinte equação:

$$E(\text{dBuV/m}) = P_t(\text{dBW}) - 20\log(d) + 74.8 - L_d \quad \text{Eq. 2.22}$$

onde:

P_t – Representa a potência isotópica transmitida (em dBW);

d – Representa a distância entre emissor e receptor (em km)

L_d – Representa as perdas por difracção (em dB)

A potência recebida isotrópicamente (em dBW), é dada por:

$$P_r = E - 20\log(f) - 167.2 \quad \text{Eq. 2.23}$$

onde f representa a frequência em (MHz).

Perdas por difracção (L_d):

A atenuação introduzida pela presença de obstáculos no percurso emissão / recepção, é somada recorrendo ao método de Deygout para cálculo da difracção em presença de múltiplos objectos em lâmina, explicado na recomendação ITU-R 526 e no relatório ITU 715. Este método entra em linha de conta com a teoria de Fresnel para um único objecto:

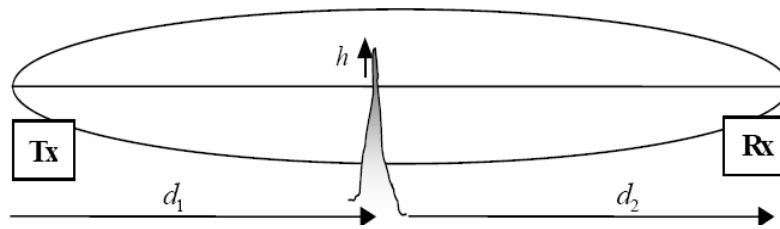


Figura 2.13: obstrução parcial do elipsóide de Fresnel por um obstáculo em lâmina[42]

A fórmula aproximada para o cálculo do valor da atenuação em presença do obstáculo indicado na figura anterior é a seguinte:

$$L_d(\text{dB}) = 6.9 + 20\log\sqrt{(v - 0.1)^2 + 1} + v - 0.1 \quad \text{Eq. 2.24}$$

em que:

$$v = h \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)} \quad \text{Eq. 2.25}$$

No caso de haver mais que uma obstrução (total ou parcial) do 1º elipsóide de Fresnel referente à ligação em causa, a aplicação deste método é feita do seguinte modo:

- Calcula-se a atenuação causada pelo obstáculo principal, utilizando o método atrás descrito;
- Procura-se de seguida o segundo obstáculo, divide-se o percurso total em dois segmentos (um entre o primeiro obstáculo e o emissor e outro entre o primeiro obstáculo e o receptor) e aplica-se de novo o método atrás descrito. A atenuação total é a soma das atenuações calculadas para cada segmento;
- Caso existam n objectos é aplicado um processo recursivo semelhante ao atrás descrito, sendo a atenuação total a soma das atenuações nos n segmentos obtidos.

O programa de cálculo utilizado implementa este processo com um número finito de obstáculos, ou seja, quando é encontrado o primeiro obstáculo os restantes são obtidos a partir da envolvente convexa do perfil respectivo.

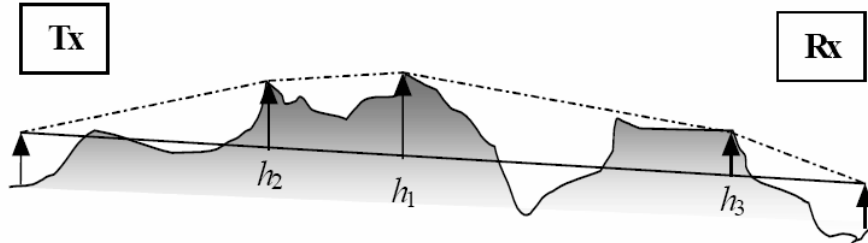


Figura 2.14: Obstrução parcial por vários obstáculos no percurso[42]

As atenuações por difracção em cada segmento resultante são então calculadas (partindo do emissor para o receptor) sendo o valor atribuído a L_d obtido da soma de todas as parcelas assim calculadas.

2.1.4.4. SUI (*Stanford University Interim*)^[42]

Este modelo opera até um máximo de 4 GHz. Ao invés de considerar edifícios como a maioria dos restantes modelos, leva em conta três tipos de terreno: A, B e C. O tipo A é o tipo de terreno com maiores perdas para desvanecimento e é apropriado para terrenos montanhosos com moderada a elevada vegetação. O tipo C é o tipo de terreno com menores perdas de

desvanecimento e aplica-se a terrenos sem elevações com pouca densidade de vegetação. O tipo B aplica-se a terrenos planos com moderada a elevada vegetação ou a terrenos montanhosos com pouca vegetação. A equação para calcular perdas com este modelo é a seguinte:

$$PL = A + 10\gamma \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + Xf + Xh + s, \text{ com } d > d_0 \quad \text{Eq. 2.26}$$

onde d representa a distância entre estação assinante e a estação base em metros, $d_0 = 100\text{m}$ e s é utilizado para considerações de desvanecimento. Os restantes parâmetros são dados por:

$$A = 20 \log\left(\frac{4\pi d_0}{\lambda}\right) \quad \text{Eq. 2.27}$$

$$Xf = 6 \log\left(\frac{f}{2}\right) \quad \text{Eq. 2.28}$$

em que f representa a frequência em GHz, sendo 3.5 ou 5.8 para o caso de Portugal (explicação no capítulo 7).

$$Xh = -10.8 \log\left(\frac{hr}{2}\right), \text{ para terrenos A e B.} \quad \text{Eq. 2.29}$$

$$Xh = -20.0 \log\left(\frac{hr}{2}\right), \text{ para terreno C.} \quad \text{Eq. 2.30}$$

$$\gamma = a - b * h_b + \frac{c}{h_b} \quad \text{Eq. 2.31}$$

em que h_b representa a altura da estação base em metros e hr representa a altura da antena da estação assinante em metros. Os valores de a , b e c encontram-se na seguinte tabela:

	Terreno A	Terreno B	Terreno C
a	4.6	4.0	3.6
b	0.0075	0.0065	0.005
c	12.6	17.1	20
s	8.2	8.2	8.2

Tabela 2.2: parâmetros dos terrenos[42]

Os principais problemas deste modelo resultam do facto de não levar em conta a altura dos edifícios e não permitir inserir margens para desvanecimento manualmente. Tem como vantagem, possibilitar os cálculos manuais dos débitos em função da distância à célula de forma simples. A distância máxima é dada por:

para terrenos tipo A ou B:

$$d_{\max} = d_0 \cdot 10^{\frac{(P_T - L_T + G_T + G_R - L_R) - S_R - \left(20 \log \left(\frac{4\pi d_0}{\lambda} \right) + 6 \log \left(\frac{f_{GHz}}{2} \right) - 10.8 \log \left(\frac{h_r}{2} \right) + s \right)}{10 \left(a - b \cdot h_b + \frac{c}{h_b} \right)}} \quad \text{Eq. 2.32}$$

para terreno tipo C:

$$d_{\max} = d_0 \cdot 10^{\frac{(P_T - L_T + G_T + G_R - L_R) - S_R - \left(20 \log \left(\frac{4\pi d_0}{\lambda} \right) + 6 \log \left(\frac{f_{GHz}}{2} \right) - 20 \log \left(\frac{h_r}{2} \right) + s \right)}{10 \left(a - b \cdot h_b + \frac{c}{h_b} \right)}} \quad \text{Eq. 2.33}$$

Em que S_R representa a sensibilidade do receptor.

O cálculo da sensibilidade do receptor, S_R , é dado por:

$$S_R = -102 + SNR + 10 \log \left(\frac{8}{7} * f * \frac{3}{4} \right) \quad \text{Eq. 2.34}$$

em que f é a largura de banda usada em MHz.

Modulação	SNR	f [MHz], S_R [dBm]				
		3.5	5	7	10	20
BPSK $\frac{1}{2}$	6.4	-96	-92	-87	-86	-80
QPSK $\frac{1}{2}$	9.4	-93	-89	-84	-83	-77
QPSK $\frac{3}{4}$	11.2	-92	-87	-83	-81	-75
16-QAM $\frac{1}{2}$	16.4	-86	-82	-77	-76	-70
16-QAM $\frac{3}{4}$	18.2	-85	-80	-76	-74	-68
64-QAM $\frac{2}{3}$	22.7	-80	-75	-71	-69	-63
64-QAM $\frac{3}{4}$	24.4	-78	-74	-69	-68	-62

Tabela 2.3: S_R em função da frequência

Nas seguintes imagens pode-se observar a distância em função da potência recebida para $G_T = 22\text{dBi}$ e $G_R = 18\text{dBi}$:

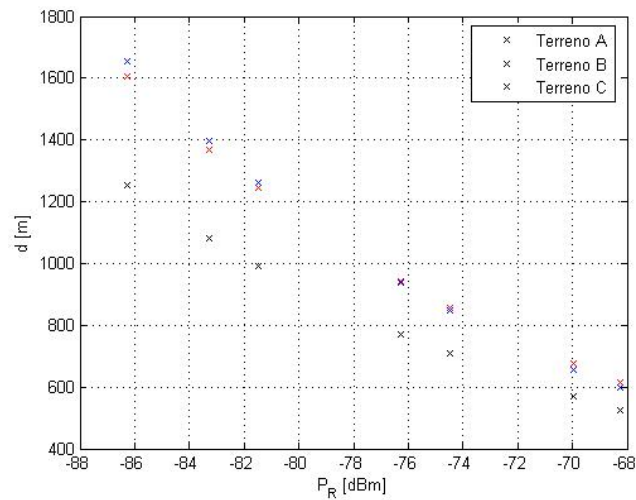


Figura 2.15: Distância em função da potência recebida para $G_T = 22\text{dBi}$ e $f = 7\text{MHz}$

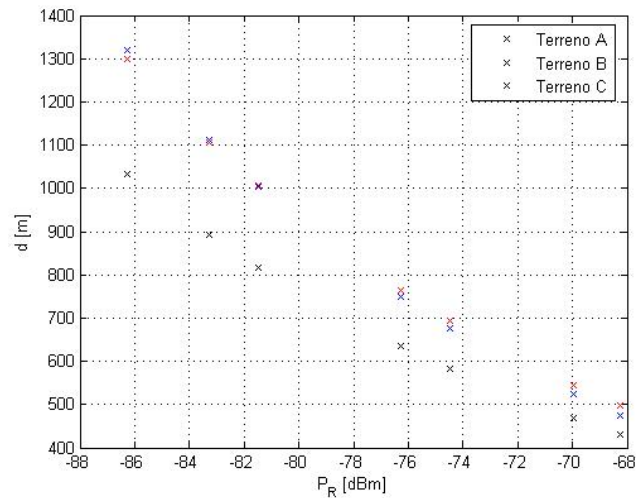


Figura 2.16: Distância em função da potência recebida para $G_T = 18\text{dBi}$ e $f = 7\text{MHz}$

2.2. Ruído^[28]

Em telecomunicações, ruído é todo o fenómeno aleatório que perturba a transmissão correcta da informação e que geralmente procura eliminar-se ao máximo.

Na imagem seguinte pode-se visualizar um sistema de telecomunicações genérico, tendo num extremo o emissor e no outro o receptor. O sinal irá sofrer degradação (nunca chega ao destino nas mesmas condições em que foi transmitido), pois durante a transmissão vai sofrer perdas, e depois ainda vai sofrer a consequência do ruído presente em todos os aparelhos e

meios de transmissão. Um sistema de transmissão genérico é o seguinte:

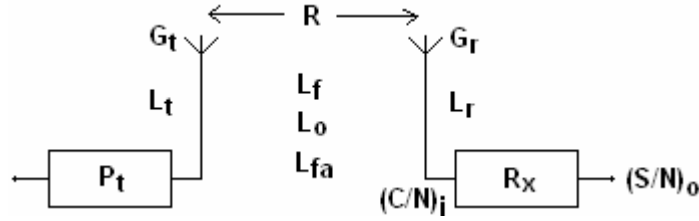


Figura 2.17: Sistema de telecomunicações, configuração genérica

P_t = Potência do transmissor (dBw)

L_t = Perdas do transmissor (dB)

G_t = Ganho do transmissor (dB)

L_f = Perdas em espaço livre (dB)

L_{fa} = Perdas de desvanecimento (dB)

L_o = Outras perdas (dB)

G_r = Ganho do receptor (dB)

L_r = Perdas do receptor (dB)

P_r = Potência do receptor (dBw)

R = distância entre emissor e receptor (m)

Sendo que a equação que define a relação entre as potências e as perdas é a seguinte:

$$P_r = P_t + G_t + G_r (L_t + L_f + L_{fa} + L_o + L_r) (dBw) \quad \text{Eq. 2.35}$$

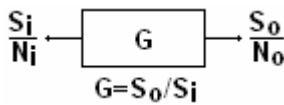
$$\text{com } L_f = 20 \log \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) \quad \text{Eq. 2.36}$$

A tudo isto devemos juntar o ruído. Existem várias formas e elementos de ruído, mas entre estes destacam-se:

Factor de ruído

O ruído Johnson é o limite inferior de ruído de qualquer sistema. Nada pode estar abaixo dele, porém a este ruído podem-se-lhe somar outros.

Define-se figura de ruído como:



$$NF = \frac{S_i / N_i}{S_o / N_o} = \frac{N_o}{GN_i} \quad \text{Eq. 2.37}$$

O factor de ruído é uma medida para ver quão optimizado para baixo ruído se encontra o sistema. O ruído Johnson só se pode diminuir arrefecendo o circuito ou diminuindo o valor das resistências, coisas que não são nem óbvias, nem imediatas. Mas através de outras técnicas, tais como melhorar a qualidade das resistências e transístores, ou aumentar as correntes de polarização, torna-se possível diminuir os outros tipos de ruído associados.

Através do factor de ruído F , podemos calcular a potência de ruído:

$$P_n = F \cdot N_i = F \cdot k \cdot T \cdot \Delta f \quad \text{Eq. 2.38}$$

F = factor de ruído;

k = constante de Boltzmann ($1.38 \times 10^{-23} [\text{W/Hz.K}]$)

T = temperatura ($273^\circ\text{K} + C$)

Δf = Largura de banda

Conhecendo a potência de ruído, já nos é possível calcular o Carrier/Noise input:

$$\left(\frac{C}{N} \right)_i = \frac{P_r}{P_n} = P_r - P_n [\text{dB}] \quad \text{Eq. 2.39}$$

Temperatura de ruído

É um conceito semelhante ao de factor de ruído. Representa a relação entre o ruído total do sistema e o ruído Johnson, mas baseando-se na temperatura e não numa relação em dBs. A temperatura de ruído é a temperatura à qual o ruído Johnson alcança o ruído total à temperatura ambiente. (tipicamente $T = 17^\circ\text{C}$, 290°K)

$$TN = T \left(10^{\left(\frac{NF(\text{dB})}{10} \right)} - 1 \right) \quad \text{Eq. 2.40}$$

Capítulo 3

Modulação e técnicas de acesso

3.1. Modulação

Em telecomunicações sem fios, a transmissão da informação é efectuada através de ondas. A modulação é um processo que permite alterar certos parâmetros da onda tais como a amplitude, a intensidade, a frequência, o comprimento de onda e a fase.

Basicamente modulação é o processo no qual a informação é adicionada a ondas electromagnéticas, i.e., supondo que temos uma determinada onda, podemos adicionar-lhe informação antes da onda ser transmitida. Depois quando a onda chega ao seu destino, sofre um processo inverso chamado desmodulação.

Dependendo do parâmetro sobre o qual se actue, existem vários tipos de modulação, uns digitais, outros analógicos:

Analógicos:

- Modulação em amplitude (AM)
- Modulação em fase (PM)
- Modulação em frequência (FM)
- Modulação em banda lateral única (SSB)
- Modulação em banda lateral dupla (DSB)
- Modulação de banda lateral vestigial (VSB, ou VSB-AM)

Digitais:

- *On-off keying* (OOK)
- *Amplitude-shift keying* (ASK)
- *Phase-shift keying* (PSK)
- *Frequency-shift keying* (FSK)
- *Minimum-shift keying* (MSK)
- *Quadrature amplitude modulation* (QAM)
- *Continuous phase modulation* (CPM)
- *Trellis modulation* (TCM)
- *Orthogonal frequency-division multiplexing* (OFDM).

Também se empregam técnicas de modulação por pulsos, entre as quais:

- Modulação por pulso codificado (PCM)
- Modulação por largura de pulso (PWM)
- Modulação por amplitude de pulso (PAM)
- Modulação por posição de pulso (PPM).

Existem vários métodos de transmissão de informação através da modulação de impulsos. Obtêm-se assim sequências de impulsos genericamente designados por sinais de banda base. Estes sinais não podem ser enviados directamente para a maioria dos canais de transmissão, visto estes apresentarem características favoráveis apenas em certas gamas de frequências. É então necessário elevar as frequências dos sinais de banda base de modo a fazer coincidir a respectiva frequência com a gama de frequências favoráveis do canal de transmissão. Isto consegue-se fazendo variar a amplitude, fase ou frequência de uma onda sinusoidal de alta-frequência (designada por portadora), em correspondência com as características do sinal de banda base. Este método de transmissão de informação é designado por modulação C-W (*'continuous wave'*).

Entre outros factores que determinaram a utilização da modulação C-W salienta-se:

- (i) radiação mais eficiente da energia electromagnética. Para que uma antena radie energia com boa eficiência é necessário que as suas dimensões físicas sejam da ordem do comprimento de onda a radiar. Assim quanto mais elevada for a frequência mais compacta será a respectiva antena.
- (ii) Aumento da largura de banda disponível, visto esta ser uma certa percentagem da frequência da portadora. Quanto maior a frequência da portadora maior será em valor absoluto a largura de banda disponível.
- (iii) utilização mais eficiente de um dado canal de transmissão por *multiplex* na frequência (FDM, *'Frequency Division Multiplexing'*).

De seguida apresenta-se um resumo dos métodos mais importantes para este trabalho:

3.1.1. FSK ('Frequency Shift Keying')^[9]

Neste tipo de modulação, a informação é enviada na frequência. Fazendo-se corresponder aos 1's e 0's frequências diferentes tem-se:

$$x_p(t) = A \cdot \cos(\omega_p \pm \Delta\omega)t$$

Eq. 3.1

+ para os 0's - para os 1's

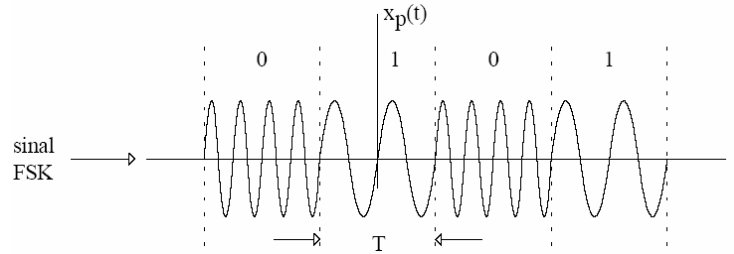


Figura 3.1: Sinal FSK[9]

3.1.2. ASK ('Amplitude Shift Keying')^[9]

Na modulação de amplitude, designada por ASK no caso particular de o sinal banda base ser digital, a portadora modulada tem a seguinte forma:

$$X_p(t) = A_p * x(t) * \cos(\omega_p t)$$

↑
portadora
modulada

↑
sinal
modulante

↑
portadora

Eq. 3.2

A figura seguinte apresenta um exemplo de $x_p(t)$ para uma dada sequência de 1's e 0's:

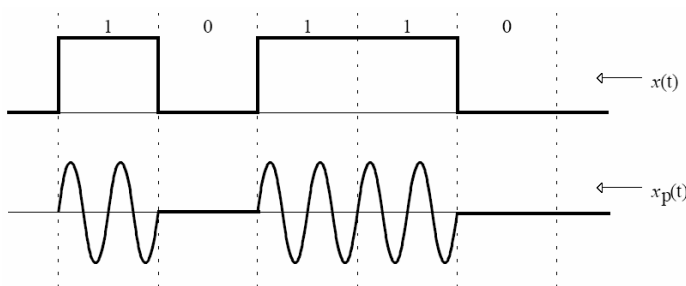


Figura 3.2: Sinal ASK[9]

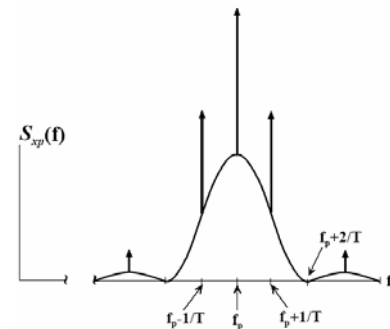


Figura 3.3: DEP de um sinal FSK[9]

3.1.3. PSK ('Phase Shift Keying')^[9]

Neste caso a portadora é dada por:

$$x_p(t) = \begin{cases} \cos(w_p t) & , \quad 1's \\ -\cos(w_p t) & , \quad 0's \end{cases} \quad \text{Eq. 3.3}$$

O sinal PSK pode ser considerado como resultante da multiplicação do sinal NRZ bipolar, $p(t)$, pela portadora $\cos(w_p t)$ como se indica na figura seguinte:

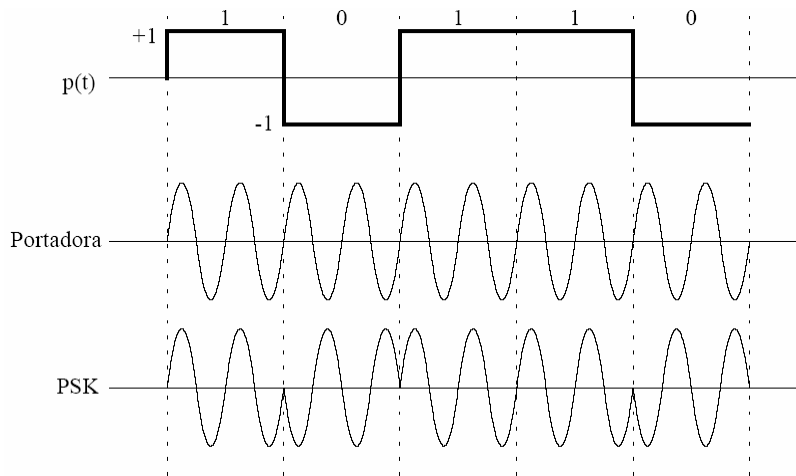


Figura 3.4: Obtenção da forma de onda PSK[9]

Então a expressão alternativa do sinal PSK será:

$$x_p(t) = p(t) \cdot \cos(w_p t) \quad \text{Eq. 3.4}$$

A DEP do sinal PSK terá portanto a forma de banda lateral dupla. No entanto a portadora não está presente, como se pode ver na figura seguinte (apenas para as frequências positivas):

Das figuras conclui-se que a largura de banda do sinal PSK é dada por:

$$B_T = 2B \quad \text{Eq. 3.5}$$

onde B é a largura de banda do sinal modulante $p(t)$.

Repare-se que esta modulação ocupa metade da largura de banda da anterior, sendo portanto mais eficiente.

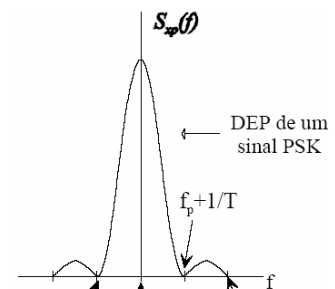


Figura 3.5: DEP de um sinal PSK[9]

3.1.4. QPSK ('*Quadrature Phase Shift Keying*')^[9]

Num sistema *PSK* quaternário (*QPSK*) combinam-se dois impulsos binários sucessivos e os quatro pares binários resultantes são utilizados para disparar uma onda sinusoidal de alta-frequência com 4 fases possíveis. A portadora modulada terá então a seguinte forma:

$$s_i(t) = \cos(w_p t + \theta_i) \quad , \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad , \quad -\frac{T}{2} \leq t \leq \frac{T}{2} \quad \text{Eq. 3.6}$$

Dois conjuntos de valores possíveis para θ_i são:

$$\theta_i = 0, \pm \frac{\pi}{2}, \pi \quad \text{Eq. 3.7}$$

e

$$\theta_i = \pm \frac{\pi}{4}, \pm \frac{3\pi}{4} \quad \text{Eq. 3.8}$$

Note-se que o sinal QPSK pode ser expresso alternativamente na forma:

$$s_i(t) = a_i \cos(w_p t) + b_i \sin(w_p t) \quad \text{Eq. 3.9}$$

onde os pares (a_i, b_i) assumem os seguintes valores:

$$\begin{array}{cccc} \theta_i & \rightarrow & 0 & \frac{-\pi}{2} & \pi & \frac{\pi}{2} \\ (a_i, b_i) & \rightarrow & (1,0) & (0,1) & (-1,0) & (0,-1) \end{array}$$

É muitas vezes útil representar os sinais num diagrama bidimensional onde o eixo horizontal representa a amplitude da componente em fase (termo em $\cos w_p t$) e o eixo vertical representa a amplitude da componente em quadratura (termo em $\sin w_p t$). Os dois conjuntos de quatro sinais correspondentes às distribuições de fases terão então as seguintes representações (constelações de sinais):

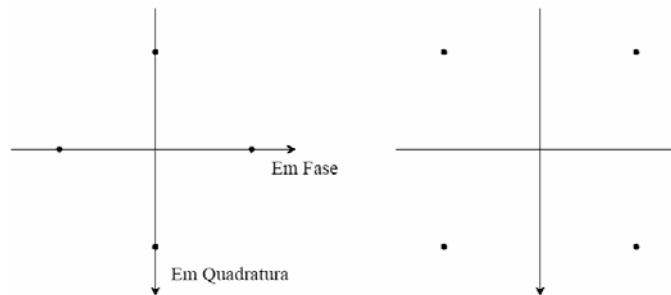


Figura 3.6: Representação de sinais QPSK em fase e quadratura (constelação) [9]

3.1.5. QAM ('*Quadrature Amplitude Modulation*')^[9, 10]

É uma modulação digital avançada que transporta dados alterando a amplitude de duas portadoras. Estas duas ondas, geralmente sinusoidais, estão desfasadas 90° entre si, sendo uma delas a portadora e a outra o sinal de dados. Este tipo de modulação é utilizado para a transmissão de dados a alto débito por canais de banda restrita.

Este sistema é utilizado na TV digital terrestre e em alguns sistemas utilizados experimentalmente por radioamadores para transferência de dados.

Nas transmissões digitais utiliza-se a modulação QPSK para satélite, QAM para cabo ou terrestre e OFDM para emissão terrestre.

Alguns exemplos de utilização do QAM são as transmissões de alto débito, televisão digital de alta definição, *cable* modems, ADSL, etc.

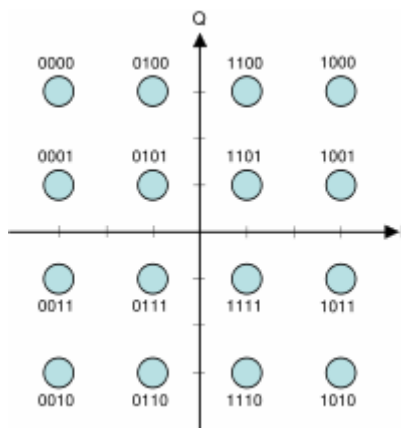
A modulação QAM pode ser: 16 QAM, 32 QAM, 64 QAM, 128 QAM, 256 QAM, 512 QAM, 1024 QAM e 2048 QAM.

Geram-se sinais QAM se a_i e b_i assumirem uma série de valores. Geram-se assim M símbolos (QAM M -ário) definidos pela expressão da Eq. 3.9:

$$s_i(t) = a_i \cos(w_p t) + b_i \sin(w_p t), \quad i = 1, 2, \dots, M \quad 0 \leq t \leq nT$$

onde $M = 2^n$, em que n representa o número de bits.

Pode-se interpretar o sinal resultante como possuindo modulação de amplitude de multi-nível aplicada independentemente a cada uma das duas portadoras em quadratura ($\cos(w_p t)$ e $\sin(w_p t)$). A figura seguinte apresenta a constelação correspondente a um sinal QAM com 4 níveis de amplitudes por cada portadora ($M = 16$ símbolos – $2^4 = 16$):



Os pontos da constelação são tipicamente dispostos num plano com igual espaçamento vertical e horizontal. Uma vez que em telecomunicações os dados são tipicamente binários, o número de pontos no plano é tipicamente uma potência de 2 (2, 4, 8, ...). Uma vez que a modulação QAM é tipicamente quadrada (potência de 2), alguns destes formatos são raros – os mais comuns são 16-QAM, 64-QAM, 128-QAM e 256-QAM. Numa constelação de maior ordem, é possível transmitir mais bits por símbolo. No entanto, caso queiramos que a energia se mantenha, os pontos devem estar mais próximos uns dos outros e consequentemente mais susceptíveis ao ruído.

Figura 3.7: Constelação 16-QAM[1]

A razão pela qual o formato 16-QAM é tipicamente o primeiro encontrado (o primeiro x-QAM) deve-se ao facto dos formatos 2-QAM e 4-QAM serem na realidade *binary phase-shift keying* (BPSK) e *quadrature phase-shift keying* (QPSK), respectivamente.

Na modulação QAM o sinal digital é decomposto em duas componentes multi-nível: duas portadoras I e Q; a informação transmitida está contida na amplitude e fase do sinal.

É sempre necessário neste tipo de transmissões a existência de uma banda de guarda de modo a evitar a interferência entre símbolos diferentes, recebidos através de múltiplos caminhos. O único senão é que a duração do intervalo de guarda tem de ser maior que o maior atraso correspondente aos sinais interferentes. Quanto maior for a banda de guarda, menor será a taxa de transmissão, pois menor é a banda reservada para dados, como se pode ver a seguir:

Modulação	Taxa de código	Comprimento relativo do intervalo de guarda			
		1/4	1/8	1/16	1/32
QPSK	1/2	4.98	5.53	5.85	6.03
	2/3	6.64	7.37	7.81	8.04
	3/4	7.46	8.29	8.78	9.05
	5/6	8.29	9.22	9.76	10.05
	7/8	8.71	9.68	10.25	10.56
16-QAM	1/2	9.95	11.06	11.71	12.06
	2/3	13.27	14.75	15.61	16.09
	3/4	14.93	16.59	17.56	18.10
	5/6	16.59	18.43	19.52	20.11
	7/8	17.42	19.35	20.49	21.11
64-QAM	1/2	14.93	16.59	17.56	18.10
	2/3	19.91	22.12	23.42	24.13
	3/4	22.39	24.88	26.35	27.14
	5/6	24.88	27.65	29.27	30.16
	7/8	26.13	29.03	30.74	31.67

Tabela 3.1: Débito binário (Mbit/s) vs modulação para um canal de 8 MHz[10]

3.2. Capacidade de um canal de transmissão

Teorema de Nyquist

Nota: A fórmula de Nyquist não leva em conta a existência de ruído branco.

$$MC_n = 2 \cdot B \cdot \log_2 N \quad \text{Eq. 3.10}$$

- MC_n = Máxima capacidade do canal por Nyquist (b/s)
- B = largura de banda em Hz;
- N = número de níveis do sinal

Ainda que possa parecer possível aumentar indefinidamente a taxa de transmissão do canal, pelo aumento do número de níveis da modulação, tal não é verdade, visto que quanto maior for o número de níveis, mais difícil será a reconstrução correcta do sinal, pois os níveis ficam mais próximos entre si.

Teorema de Shanonn

Para um sinal recebido com uma potência S sendo a potência do ruído N e a largura de banda B , a máxima capacidade de transmissão do canal que o transportou é:

$$MCs = B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad \text{Eq. 3.11}$$

Nota: S/N é a relação sinal ruído, que é tipicamente expressa em dBs, pelo que é sempre necessário convertê-la para o valor real (não logarítmico) antes de o utilizar na fórmula.

3.3. Duplexing^[35]

Define-se *duplex* como um sistema composto por duas partes, em que ambas as partes podem comunicar uma com a outra. Um sistema *duplex* pode ser *half-duplex* (cada parte do sistema comunica de cada vez, i.e., um envia informação e a outra parte tem de esperar que a informação seja recebida antes de começar a enviar) ou *full-duplex* (ambas as partes do sistema podem enviar e receber informação em simultâneo).

3.3.1. FDD (*Frequency Division Duplex*)

Em FDD são utilizadas duas bandas de frequência distintas de modo a que o terminal móvel transmita numa delas (*uplink*) e a estação base transmita na outra (*downlink*). O FDD é usado em redes móveis tais como o WiMAX, no entanto, o seu uso não é recomendado no que a aplicações *web* diz respeito, pois nestes casos os pacotes recebidos costumam ser sempre muito superiores aos enviados, o que levaria a um enorme desperdício de largura de banda.

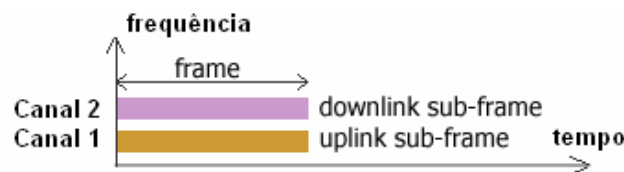


Figura 3.8: *Frequency Division Duplex*[35]

3.3.2. TDD (*Time Division Duplex*)

Já em TDD, a frequência utilizada para transmissão e recepção é a mesma, só que em intervalos de tempo distintos. Deste modo é possível dar mais largura de banda a quem precise mais dela. O TDD é utilizado pelo WiMAX, Bluetooth e ADSL.

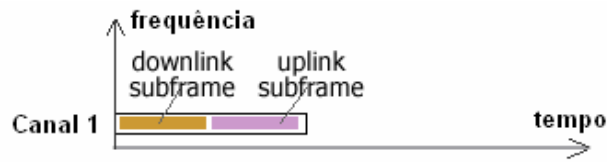


Figura 3.9: Time Division Duplex[35]

3.4. Técnicas de acesso múltiplo^[36]

As técnicas de acesso múltiplo possibilitam a utilização dos meios físicos a vários utilizadores em simultâneo (ou seja, é uma espécie de partilha de recursos, só que neste caso os recursos são os canais disponíveis).

Existem três formas de acesso múltiplo, descritas de seguida:

3.4.1 Frequency Division Multiple Access (FDMA)

O objectivo do FDMA é que várias comunicações possam ocorrer na mesma banda, através da partilha do espectro de frequências.

O FDMA é uma técnica que separa a banda de frequência do sistema em subcanais, cada um com uma determinada largura. Cada um destes subcanais possui uma banda de guarda de modo a minimizar a interferência do canal adjacente. Os sistemas FDMA são sempre FDD.

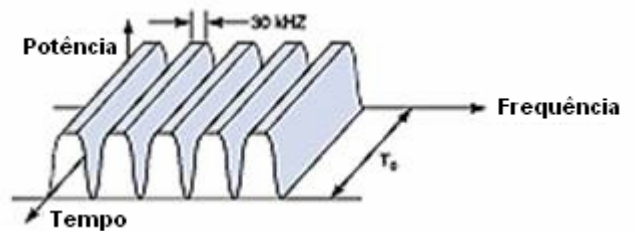


Figura 3.10: FDMA[36]

3.4.2. Time Division Multiple Access (TDMA)

O TDMA é uma técnica que possibilita a partilha de um determinado canal por vários utilizadores ao dividir o sinal em *time slots*, com o objectivo de aumentar a capacidade do sistema. O utilizador tem acesso a uma pequena porção da banda por um determinado intervalo de tempo (*time slot*). Os sistemas TDMA podem ser FDD ou TDD.

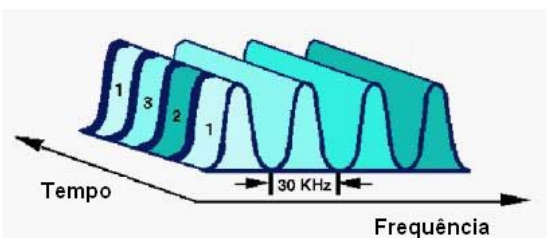


Figura 3.11: TDMA[36]

3.4.3. Code Division Multiple Access (CDMA)

Nesta técnica são utilizados códigos para transmitir os dados. Vários utilizadores podem partilhar o mesmo canal, mas apenas os que têm o mesmo código “conseguem entender-se”.

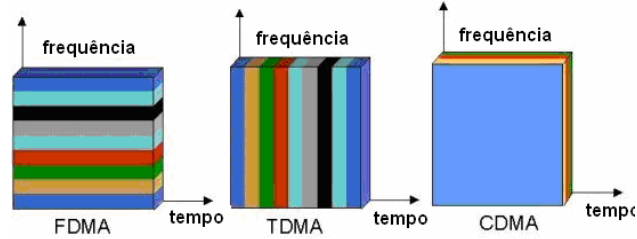


Figura 3.12: CDMA

É conhecida uma boa analogia para estes métodos: Imagine-se uma sala com várias pessoas a conversar. O TDMA seria quando todas as pessoas estivessem a falar em turnos, uma após a outra. O FDMA seria quando as pessoas se juntassem em grupos, sendo que cada grupo realizaria a sua própria conversa, e todos os grupos falariam ao mesmo tempo. O CDMA seria quando todos falassem em simultâneo, mas cada par falando num idioma diferente. A ideia do CDMA é ser capaz de extrair o sinal desejado enquanto rejeita os restantes como sendo ruído.

Parte II

Tecnologia WiMAX

Capítulo 4

Introdução ao WiMAX

4.1. Resposta a um desafio comercial^[12-14]

Desde o início da década de 90 que temos vindo a assistir a um crescimento exponencial da telefonia móvel e do acesso à Internet de banda larga com fios, o que faz com que hoje em dia seja praticamente impossível imaginar um mundo sem estas tecnologias.

A sua massificação tem vindo a ser acompanhada por um aumento do grau de exigência por parte dos utilizadores, que não só exigem maior mobilidade como melhor serviço a menor preço. O desafio técnico e comercial está pois, em desenvolver uma tecnologia sem fios, com elevada cobertura e de fácil acesso. A solução passa pela banda larga, que tem vindo a ganhar adeptos. É neste contexto que o WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) se apresenta como uma alternativa às tecnologias actuais (como por exemplo o Wi-Fi).

WiMAX refere-se à rede Internet de banda larga baseada na norma IEEE 802.16, a qual assegura compatibilidade e interoperabilidade entre os diversos fabricantes. Adequa-se a um vasto leque de aplicações e ambientes: dados, voz e multimédia; fixo e móvel; licenciado e não-licenciado. O WiMAX, que tem um alcance máximo de 50km, está pensado para levar ao utilizador final Internet sem fios sem a despesa e inconveniente da cablagem (tal como acontece no acesso de banda larga por cabo) ou as limitações na distância da *Digital Subscriber Line*.

A tecnologia WiMAX foi criada com o objectivo de fornecer acesso sem fios à Internet com as seguintes características:

- Cobertura de uma área geográfica de grandes dimensões;
- Possibilidade de um elevado número de utilizadores em simultâneo aceder à rede;
- Velocidade de transmissão elevada;
- Baixo custo.

Enquanto que nas outras tecnologias de acesso à Internet (como p.e. a tecnologia DSL) não compensa fazer a cobertura de uma área com pouca densidade populacional, devido ao elevado custo das infra-estruturas tecnológicas (linhas, etc.), a tecnologia WiMAX permite um alcance de vários quilómetros a um baixo custo (até 50 km), possibilitando o acesso à Internet em banda larga a utilizadores que residam em zonas rurais ou em zonas urbanas não cobertas por acesso de banda larga com fios.

No entanto, nem tudo são vantagens no que concerne ao WiMAX, pois factores externos, como por exemplo, chuvas fortes (a chuva afecta principalmente em frequências acima dos 3 GHz) podem afectar o sinal.

O WiMAX é baseado no standard IEEE 802.16, sendo capaz de atingir taxas de transmissão da ordem dos 75 Mbps e um alcance de 50 km.

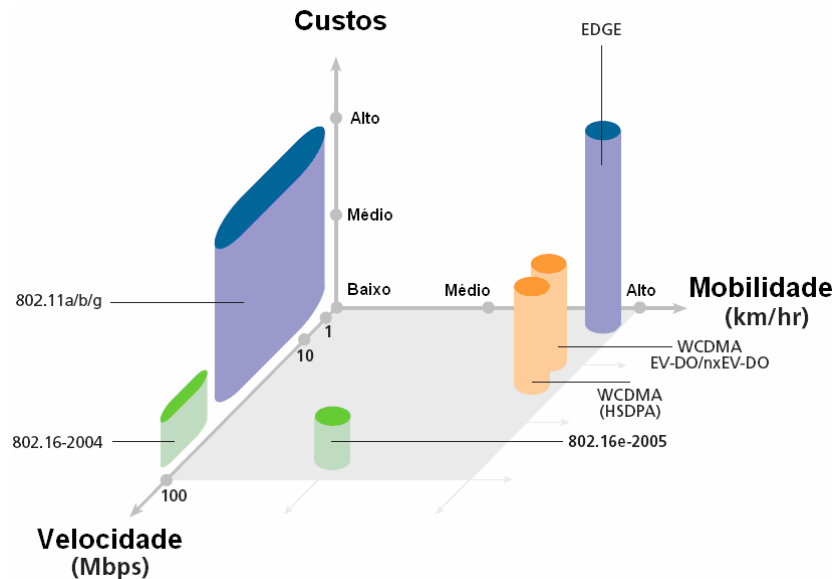


Figura 4.1: Estudo comparativo entre diversas tecnologias wireless[12]

Tecnologia	Tipo de uso	Débito máximo	Alcance
WiMAX 802.16	Interno / Externo	75 Mbps	50 quilómetros
WiLAN 802.11g	Interno	54 Mbps	35 metros
WiLAN 802.11b	Interno	11 Mbps	35 metros
ADSL2+	Com fios	24 Mbps	Não aplicável
VDSL2	Com fios	100 Mbps	Não aplicável
GPRS	Interno / externo	53 kbps	Vários quilómetros
EDGE	Interno / externo	200 kbps	Vários quilómetros
UMTS	Interno / externo	384 kbps	Vários quilómetros
UMTS – HSDPA	Interno / externo	3 Mbps	Vários quilómetros

Tabela 4.1: Comparação entre algumas tecnologias sem fios e DSL[13]

4.2. Penetração no mercado^[12]

O WiMAX é a resposta às exigências dos utilizadores de telefonia móvel que procuram maior largura de banda para utilizar certas aplicações móveis, dos utilizadores Wi-Fi que procuram um maior alcance e dos utilizadores da rede fixa que procuram mobilidade.

Mas o sucesso de qualquer nova tecnologia só pode ser reivindicado quando esta for aceite e adoptada pelo mercado, pois o utilizador final tem sempre a ultima palavra. Um bom exemplo é o mercado da telefonia móvel. Esta tecnologia demorou muito pouco tempo desde a sua introdução no mercado até ser aceite e adoptada pelo mercado.

Tal como ocorreu na telefonia móvel, o acesso à Internet de banda larga com fios teve uma elevada penetração no mercado e um enorme crescimento ao longo dos últimos anos e tal como nos mercados de telefonia móvel e de banda larga, o WiMAX tem tudo para vingar: alto débito, baixo custo e qualidade de serviço. No entanto já existiram outras tecnologias que tinham tudo para vingar e nunca o conseguiram, como foi o caso do DAB, pelo que apenas o tempo ditará o seu sucesso.

4.3. Desafio técnico

O WiMAX é uma tecnologia de acesso BWA (*Broadband Wireless Access*), ou seja, banda larga sem fios com alto débito. É uma evolução do Wi-Fi, pois permite maiores taxas de transmissão de dados, cobre uma área significativamente maior e é mais económico e viável.

As aplicações do WiMAX incluem acesso de banda larga para SOHO e pequenos negócios, nível T1/E1 para empresas, suportando não só dados como voz e vídeo, *wireless backhaul* para *hotspots* e serviço *backhaul* para estações base celulares.

O WiMAX é sustentado pelo WiMAX Forum, que tem como missão principal garantir a compatibilidade e interoperabilidade entre os equipamentos baseados no padrão IEEE 802.16 e é composto predominantemente por fabricantes de equipamentos de *chipsets*. O WiMAX Forum é o equivalente ao Wi-Fi Alliance, responsável pelo grande desenvolvimento e sucesso do Wi-Fi em todo o mundo.

Normalmente é feita a distinção entre WiMAX fixo e WiMAX móvel, tecnologias que têm como finalidade providenciar serviços de banda larga sem fios fixos (baseados no padrão 802.16-2004 também conhecido por 802.16d) e móveis (baseados no padrão 802.16e-2005 também conhecido por 802.16e), respectivamente.

Estas tecnologias têm que superar diversos desafios inerentes à transmissão de dados sem fios. O primeiro deles é o próprio meio de transmissão, cuja adversidade deve-se a factores como obstruções espaciais, movimento relativo entre pontos comunicantes, ruído e interferência de outros sinais. Isto agrava-se nos cenários de transmissões NLOS. Outra dificuldade vem da escassez de espectro disponível. Permitir a comunicação de um número crescente de utilizadores através de um espectro limitado força a procura de soluções que utilizem este sinal de maneira mais eficiente, (ainda mais considerando que certas frequências foram reservadas para uso comercial). Um conceito fundamental para se conseguir tal

eficiência é a arquitectura celular, que consiste na cobertura de uma área através do emprego de diversas antenas com potência inferior, cada uma cobrindo uma área menor (chamada de célula), em vez do uso de apenas uma antena radiando uma potência elevada. Estas células são subdivididas em sectores, e estas células e sectores são agrupados em clusters de forma que, dentro destes clusters, a atribuição de frequências possa ser feita de forma inteligente, num procedimento chamado de reutilização de frequências (ver-se-á isto em detalhe mais adiante).

Também são desafios nas transmissões sem fios a garantia de qualidade de serviço (*quality of service* – QoS), mesmo em condições de alta instabilidade do meio e de segurança, visto tratar-se de um meio aberto, mais propenso a invasores.

Aos serviços móveis associamos a provisão de mobilidade e portabilidade, inexistentes nas comunicações com fios. Deve-se garantir também a compatibilidade com o protocolo IP (o protocolo de rede mais utilizado actualmente).

4.4. Solução WiMAX^[15]

Para poder concretizar aquilo que dele se espera, o WiMAX mune-se das mais avançadas tecnologias na área das comunicações sem fios.

A camada física do WiMAX baseia-se no OFDM (em 802.16d) ou OFDMA (em 802.16e). Este aspecto garante-lhe logo duas vantagens: em primeiro lugar a robustez contra multipercurso da multiplexação espacial (transmissão de fluxos independentes feitas em paralelo por antenas diferentes) e em segundo lugar a flexibilidade para incluir algoritmos e técnicas como codificação e modulação adaptativa (variação da modulação segundo a razão entre a potência do sinal e interferência/ruído) e de técnicas multi-acesso eficientes. A camada física está pensada para funcionar com sistemas de antenas MIMO. A pensar na importância que os *ACKnowledges* têm no desempenho do sistema, o WiMAX inclui ainda técnicas de protecção de dados reforçadas (ARQ-híbrido).

A camada MAC, cuja função é garantir a troca de pacotes de dados dentro da rede através de um canal partilhado, inova por poder garantir uma qualidade de serviço diferenciado de acordo com a aplicação, para além de garantir avançados nos sistemas de segurança e ter opções para poupança de bateria e mobilidade (*handoff*). Em termos de arquitectura de rede, pode-se ter uma arquitectura P2P, P2MP ou *Mesh*.

A arquitectura de rede do WiMAX está pensada para suportar diversos agentes e fornecedores de serviços, bem como as respectivas interfaces. Uma das suas principais tarefas é a gestão de sessão.

LB canal	QPSK $\frac{3}{4}$	16QAM $\frac{3}{4}$	64QAM $\frac{3}{4}$
20MHz	18.7Mbps	37.5Mbps	75Mbps
14MHz	13.1Mbps	26.2Mbps	52.5Mbps
10MHz	9.3Mbps	18.7Mbps	37.5Mbps
7MHz	6.5Mbps	13.1Mbps	26.2Mbps
5MHz	4.6Mbps	9.3Mbps	18.7Mbps
3.5MHz	3.3Mbps	6.5Mbps	13.1Mbps

Tabela 4.2: Débitos binários para diferentes perfis^[15]

	802.16	802.16d	802.16e
Aprovada	Dezembro 2001	Junho 2004	2005
Espectro	10-66GHz, licenciado	2-11GHz, licenciado, não licenciado	2-6GHz, licenciado, não licenciado
Condições do canal	Linha de vista requerida (LOS)	Linha de vista não requerida (NLOS)	Linha de vista não requerida (NLOS)
Débito	Até 134Mbps com canais de 28MHz	Até 75Mbps com canais de 20MHz	Até 75Mbps com canais de 20MHz
Modulação	QPSK, 16QAM, 64QAM	OFDM 256 subportadoras, BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM	OFDM 128 a 2048 subportadoras, BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM
Mobilidade	Fixo	Fixo, nómada	Portabilidade nomádica, mobilidade
Eficiência espectral	< 4.8bps/Hz	< 3.75bps/Hz	< 3bps/Hz
Larguras de banda do canal	20, 25 e 28 MHz	Escalável 1.25 a 20 MHz	Escalável 1.25 a 20 MHz
Raio típico da célula	2-5km (LOS)	1-15km (max. 50km)	1-5km

Tabela 4.3: Comparação entre os diferentes padrões WiMAX existentes[15]

O cálculo da sensibilidade do receptor, S_R , é dado por:

$$S_R = -102 + SNR + 10 \log \left(\frac{8}{7} * f * \frac{3}{4} \right) \quad \text{Eq. 4.1}$$

em que os $\frac{3}{4}$ na equação devem-se ao facto de $\frac{3}{4}$ das portadoras serem utilizadas para dados.

Modulação	SNR	f [MHz], S_R [dBm]				
		3.5 MHz	5 MHz	7 MHz	10 MHz	20 MHz
BPSK $\frac{1}{2}$	6.4	-96	-92	-87	-86	-80
QPSK $\frac{1}{2}$	9.4	-93	-89	-84	-83	-77
QPSK $\frac{3}{4}$	11.2	-92	-87	-83	-81	-75
16-QAM $\frac{1}{2}$	16.4	-86	-82	-77	-76	-70
16-QAM $\frac{3}{4}$	18.2	-85	-80	-76	-74	-68
64-QAM $\frac{2}{3}$	22.7	-80	-75	-71	-69	-63
64-QAM $\frac{3}{4}$	24.4	-78	-74	-69	-68	-62

Tabela 4.4: S_R em função da frequência

4.5. Frequência de funcionamento^[16, 37]

Quase todas as tecnologias de acesso sem fios estão concebidas para operar em bandas de frequência licenciadas, ainda que estas bandas possam diferir de país para país ou de região para região. No caso do WiMAX, é possível operar em bandas de frequência não licenciadas, apesar de existirem bandas específicas para esta tecnologia. A figura seguinte mostra a

distribuição global das frequências licenciadas utilizadas em WiMAX:

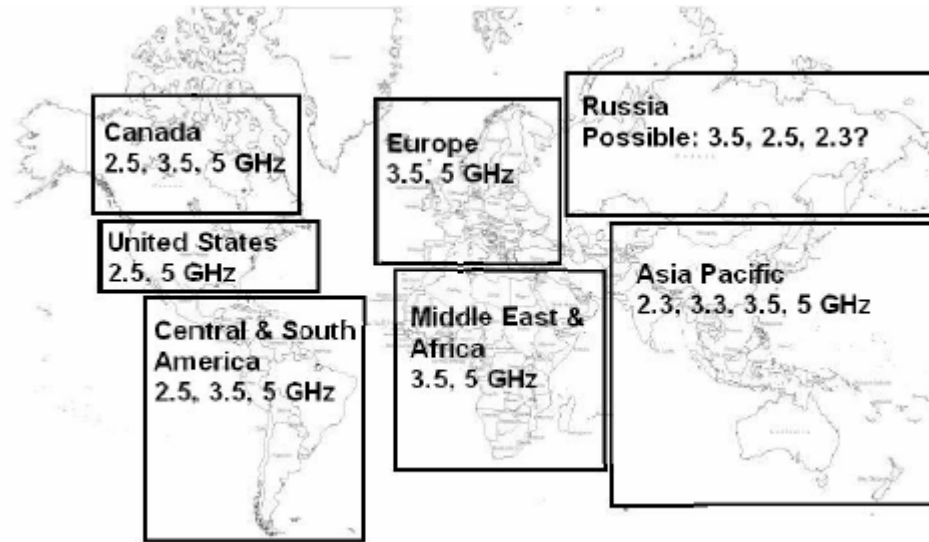


Figura 4.2: Distribuição das frequências licenciadas para operar em WiMAX[37]

4.6. Antenas^[15]

Em WiMAX pode-se dividir as antenas em três categorias:

➤ **Painel**

São utilizadas para transmissões *point-to-point*, ou seja, apenas da antenna para um só utilizador.

➤ **Omnidireccional**

Omnidireccional quer dizer que transmitem com a mesma intensidade de radiação no plano azimutal, o que limita o alcance do sinal. A sua utilização é recomendável quando existem muito utilizadores numa área próxima da estação base.

➤ **Sectorizadas**

Transmitem apenas para uma determinada área, fornecendo portanto um maior alcance com a mesma potência e minimizando a interferência. É comum utilizarem-se várias antenas sectorizadas para cobrir áreas de 360° em vez de uma só antenna omnidireccional devido ao maior alcance e potência do sinal obtidos.

Parâmetros	Downlink		Uplink	
	Valor	Unidade	Valor	Unidade
Parâmetros de transmissão	Estação base		Estação assinante	
Potência de transmissão	28	dBm	20	dBm
Nº de elementos da antena	1		1	
Ganho de transmissão	12	dBi	18	dBi
PIRE	40	dBm	38	dBm
Parâmetros de recepção	Estação assinante		Estação base	
Ganho de recepção	18	dBi	12	dBi
Perdas	0	dB	0,5	dB
Nº de elementos da antena	1		1	
kT	-174,3	dB/Hz	-174,3	dB/Hz
Largura de banda	3,5	MHz	3,5	MHz
Factor de ruído	5	dB	4	dB
Sensibilidade do receptor	-97	dBm	-98	dBm

Tabela 4.5: Valores típicos para um balaço de potências para WiMAX. Fonte: Motorola

4.6.1. Diversidade e multiplexagem espacial^[15]

Com apenas duas antenas transmissoras suficientemente espaçadas já se consegue diminuir a probabilidade de ocorrência de desvanecimentos severos. E isto sem largura de banda ou potência adicional. Quando o número de antenas é baixo, as vantagens superam os custos de implementação.

A recuperação do sinal envolve a combinação dos sinais recebidos e pode ser feita segundo vários algoritmos, desde o simples seleccionar do melhor dos sinais até à sua combinação. A diversidade traduz-se num ganho do sinal recebido, que depende do número de antenas, tipo de combinação usada e qualidade do canal. A técnica mais utilizada para aplicar várias antenas transmissoras é a utilização do STBC (*space time block coding*) com códigos de Alamuti para poder distinguir as antenas

A diversidade espacial pode ser criada sem sacrificar largura de banda (que as diversidades no tempo ou na frequência exigem) e oferece melhorias impressionantes na fiabilidade. Estes ganhos de diversidade conseguem-se com várias antenas receptoras (SIMO), várias antenas transmissoras (MISO) ou uma combinação de ambos (MIMO).

Para além de garantir diversidade espacial, os *arrays* de antenas podem focar a energia (*beamforming*) ou criar vários canais paralelos para transportar *streams* de informação individuais (multiplexagem espacial). Quando se usam várias antenas no receptor e emissor, as abordagens são apelidadas de MIMO (*Multiple Input / Multiple Output*) e são usadas para:

1. Aumentar a fiabilidade do sistema (decrecer BER);
2. Aumentar a máxima taxa de bit e consequentemente a capacidade;
3. Aumentar a área coberta;
4. Diminuir a potência transmitida;

No entanto, estes quatro pontos são antagónicos: por exemplo, um aumento no ritmo de bits implica um aumento da BER ou da potência transmitida. A escolha do tipo e quantidade de antenas reflecte a importância que o projectista atribuiu a cada um destes aspectos, bem como considerações de custos e espaço.

Os primeiros produtos WiMAX deverão ser conservadores no número de antenas empregues, quer na estação base quer na estação assinante e optarão por diversidade em detrimento de ritmos de bit agressivos (multiplexagem espacial). Mas prevê-se que no médio a longo prazo os sistemas WiMAX necessitem recorrer a técnicas de antenas múltiplas para concretizarem a sua visão de Internet móvel de banda larga.

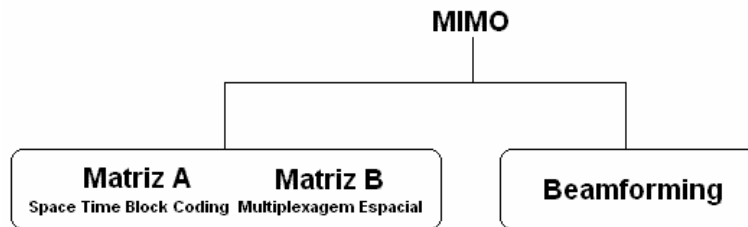


Figura 4.3: MIMO

A multiplexagem espacial consiste em repartir o sinal de entrada (elevado débito) por outros N_t sinais independentes e de débito mais baixo.

Na figura seguinte representa-se um sistema de multiplexagem espacial. Os bits à entrada (elevado débito) são desmultiplexados por um S/P e ficam com um ritmo de bit N_t vezes mais baixo. Depois esses sinais atravessam o canal e são recebidos por N_r antenas. Essas antenas estão ligadas a uma unidade DSP que efectua o processamento dos sinais, conseguindo diferenciar os sinais de cada antena transmissora.

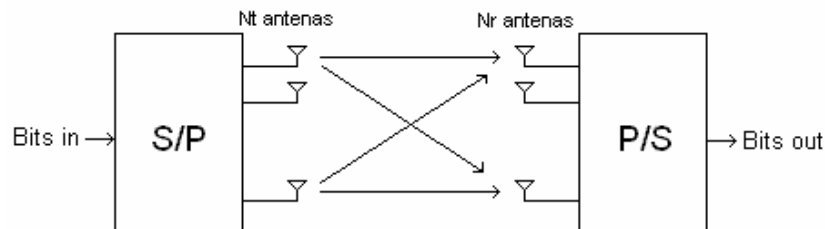


Figura 4.4: Sistema de multiplexagem espacial MIMO

Trata-se do tipo de MIMO mais interessante para alcançar ritmos de bit elevados. Assumindo que esses sinais são decodificados correctamente, a eficiência espectral é deste modo aumentada num factor de $\min(N_t, N_r)$.

Trata-se de um resultado muito interessante: implica que a adição de antenas aumenta a viabilidade de ritmos elevados para acesso à Internet de banda larga. Mas por outro lado, os ganhos do MIMO não podem aumentar indefinidamente. Algumas das causas são as seguintes:

- Codificação extra – a existência de múltiplas antenas transmissoras obriga a codificação extra, o que por sua vez leva a redução da eficiência da transmissão.
- Interferência entre antenas transmissoras
- Erros na estimação do canal

No caso óptimo da multiplexagem espacial, a capacidade (ou ritmo de bit máximo), cresce proporcionalmente a $\min(N_t, N_r) \cdot \log(1 + \text{SNR})$ quando o SNR é alto. Em caso de SNR baixo, a melhor estratégia é enviar um único sinal em todas as antenas e usar pré-codificação. Neste caso a capacidade é muito menor mas continua a crescer $\propto \min(N_t, N_r)$.

4.6.2. *Beamforming*^[15, 38]

As técnicas *beamforming* são uma alternativa ao aumento da energia de transmissão, ao suprimir ou anular os sinais interferentes. Em contraste com a diversidade na transmissão, as antenas do agregado podem ser usadas para ajustar a potência dos raios incidentes. Tal faz-se com base na "direcção", que pode ser física (direcção de chegada, ou DOA) ou em sentido matemático (*eigenbeamforming*).

A focagem da energia consegue-se com a regulação dos pesos de cada elemento de antena segundo um determinado critério (geralmente de maximização do SNR ou minimização do erro de mínimos desvios quadrados). As técnicas DOA são válidas em situação de LOS. Em caso contrário as de *eigenbeamforming* obtêm um melhor desempenho.

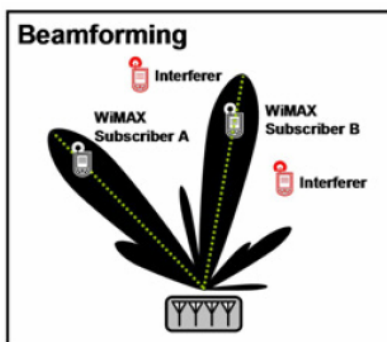


Figura 4.5: Uso de agregados para direccionar o feixe e evitar interferidores[38]

Capítulo 5

Camada Física do WiMAX

5.1. Introdução^[17, 18]

O WiMAX define quatro camadas físicas, que variam consoante o tipo da aplicação e configuração. A tabela seguinte descreve essas quatro camadas (vulgo *layers*).

Designação	Frequência de operação	Duplexing	Notas
WirelessMAN-SC	10-66 GHz	TDD, FDD	Single Carrier / LOS
WirelessMAN-SCa	2-11 GHz	TDD, FDD	Single Carrier / NLOS
WirelessMAN-OFDM	2-11 GHz	TDD, FDD	FFT de 256 pontos baseada em OFDM para NLOS
WirelessMAN-OFDMA	2-11 GHz	TDD, FDD	FFT de 2048 pontos baseada em OFDM para NLOS

Tabela 5.1: Camada física (layers)[13]

Um sinal WiMAX utiliza modulação OFDM. O sinal é constituído por 256 portadoras (fixo) ou por 128 a 2048 portadoras (móvel), consoante a largura de banda (que pode variar entre 1.25 a 20 MHz, sendo o número de portadoras proporcional à frequência no caso do WiMAX móvel). Destas portadoras apenas 3/4 são efectivamente utilizadas para dados: as restantes são utilizadas como bandas de guarda e como pilotos.

Das restantes 1/4 das portadoras que não são utilizadas para dados, algumas são utilizadas para guarda (este valor varia consoante a banda de guarda utilizada) e as restantes são utilizadas como pilotos (fazendo uma analogia a uma rede IP, um piloto seria o cabeçalho contendo a informação do pacote). As portadoras piloto utilizam sempre modulação BPSK e as de dados utilizam modulação BPSK, QPSK, 16-QAM, ou 64-QAM.

Apesar do WiMAX poder utilizar tanto TDD (*Time Division Duplex*) como FDD (*Frequency Division Duplex*), o mais normal é ser apenas utilizado TDD, visto que este garante uma maior eficiência do espectro (pois usa um único canal para *uplink* e *downlink*), para não falar no facto do desenho dos equipamentos ser menos complexo e mais barato. Ao

utilizar TDD, a estação base e os utilizadores transmitem na mesma frequência, o que pode causar interferências. Para evitar que isto aconteça, as transmissões da estação base e dos utilizadores ocorrem em períodos de tempo distintos. A estação base primeiro transmite um *subframe* que é seguido de um *gap* (intervalo de tempo em que nada ocorre). Após este *gap* os utilizadores começam a transmitir os seus *subframes*, após os quais se segue outro *gap*. Ao fim desse *gap* a estação base transmite e recomeça o ciclo.

A modulação das portadoras varia tipicamente com a distância da forma representada abaixo onde uma constelação mais reduzida é usada para utilizadores com uma relação sinal/ruído mais fraca, ou seja, os mais periféricos:

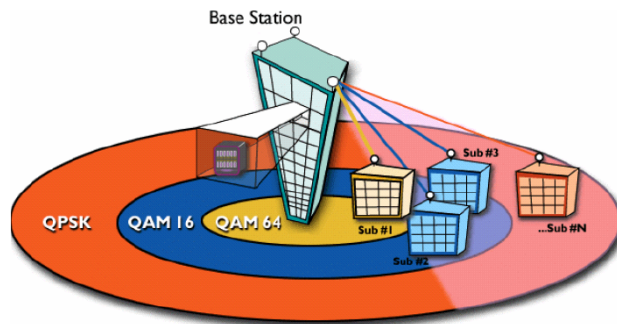


Figura 5.1: Modulação em função da distância[39]

5.2. OFDM^[1, 10, 19, 20]

À medida que a largura de banda aumenta e os sistemas vão sendo cada vez mais sujeitos a ambientes dispersivos no tempo (ex: escritórios), as soluções que apostam em equalizadores ou receptores RAKE para contrariar o impacto do canal tornam-se altamente complexas. Para estes casos propõe-se o recurso a um sistema multiportadora, como o OFDM. Entre os benefícios do OFDM encontram-se a sua alta eficiência espectral e baixa sensibilidade à distorção multipercurso. Isto é particularmente útil, na medida em que numa transmissão terrestre o sinal chega ao receptor reflectido de vários sítios, fazendo com que os sinais interfiram uns nos outros, tornando muito difícil a extracção do sinal original.

Em sinais digitais, a informação encontra-se sob a forma de bits, ou colecção de bits designada por símbolos, sendo modulada na portadora. Quanto maior for a taxa de transmissão da informação, menor será a duração dos símbolos, tornando o sistema mais susceptível à perda de informação. Nestes casos, muitas vezes não é possível recuperar a informação transmitida.

OFDM significa *Orthogonal frequency division multiplexing*. Uma subportadora contendo uma parcela da informação é transportada em cada banda de frequência. Cada subportadora é ortogonal (i.e., são independentes umas das outras). Basicamente múltiplos sinais são enviados em diferentes frequências.

A técnica OFDM mitiga o problema da interferência entre símbolos ao distribuir o canal de comunicações por várias bandas de largura igual. Estas bandas têm uma um ritmo de bit mais baixo do que o sinal original. A maior complexidade do esquema está na geração das subportadoras ortogonais, mas esse problema resolve-se usando blocos IDFT/DFT.

Actualmente o OFDM está na base de várias camadas físicas como *wireless* LAN e PAN, IEEE 802.11a, 11g, 11n, DVB, DAB e WiMAX. O seu futuro é promissor e há estudos que prevêem a sua inclusão na quarta geração de redes celulares.

Recordando a teoria de sistemas e sinais, as sinusóides das transformadas de Fourier são ortogonais e um sinal no espaço vectorial da transformada pode ser representado como uma combinação linear das sinusóides ortogonais. Ou seja, o que a transformada faz é correlacionar o sinal com cada uma das funções sinusoidais. Se o sinal possui uma certa energia a uma determinada frequência, vai existir um pico na correlação do sinal com a sinusóide que se encontra à mesma frequência do sinal.

Um sistema OFDM encara os símbolos a serem enviados pelo transmissor como estando no domínio das frequências. Estes símbolos são “introduzidos” no bloco da IFFT que converte o sinal para o domínio dos tempos. A IFFT usa N símbolos em simultâneo (em que N é o número de subportadoras do sistema), tendo cada símbolo um período de T segundos produzindo um símbolo OFDM. Recorde-se que as funções base de uma IFFT são N sinusóides ortogonais, cada uma possuindo uma frequência diferente. Cada símbolo actua como um peso complexo diferente para a sua correspondente sinusóide. Uma vez que os símbolos são complexos, o seu valor permite determinar tanto a amplitude como a fase da sinusóide para essa subportadora. A saída da IFFT é o somatório das N sinusóides. No final temos um único símbolo OFDM com comprimento NT. O sinal final à saída da IFFT será transmitido no domínio dos tempos ao longo do canal de transmissão até chegar ao receptor, onde o bloco FFT irá converter o sinal para o domínio das frequências.

Devido às propriedades da IDFT, os subcanais são moldados segundo $\sin(x)/x$. A título de exemplo, o espectro de três subportadoras OFDM está ilustrado na figura seguinte. A figura mostra que o espectro está parcialmente sobreposto, significando eficiência espectral acrescida quando comparada com técnicas multiportadora convencionais. É nítido que a separação das diferentes subportadoras não pode ser levada a cabo com filtragem passa-banda. Por isso, o processamento na banda base aplicado explorará a ortogonalidade daquelas subportadoras. Esta propriedade está evidenciada na figura, onde o máximo de uma subportadora é atingido quando as adjacentes têm amplitude zero.

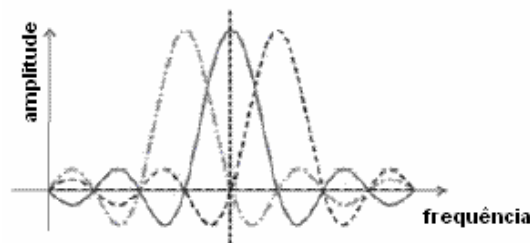
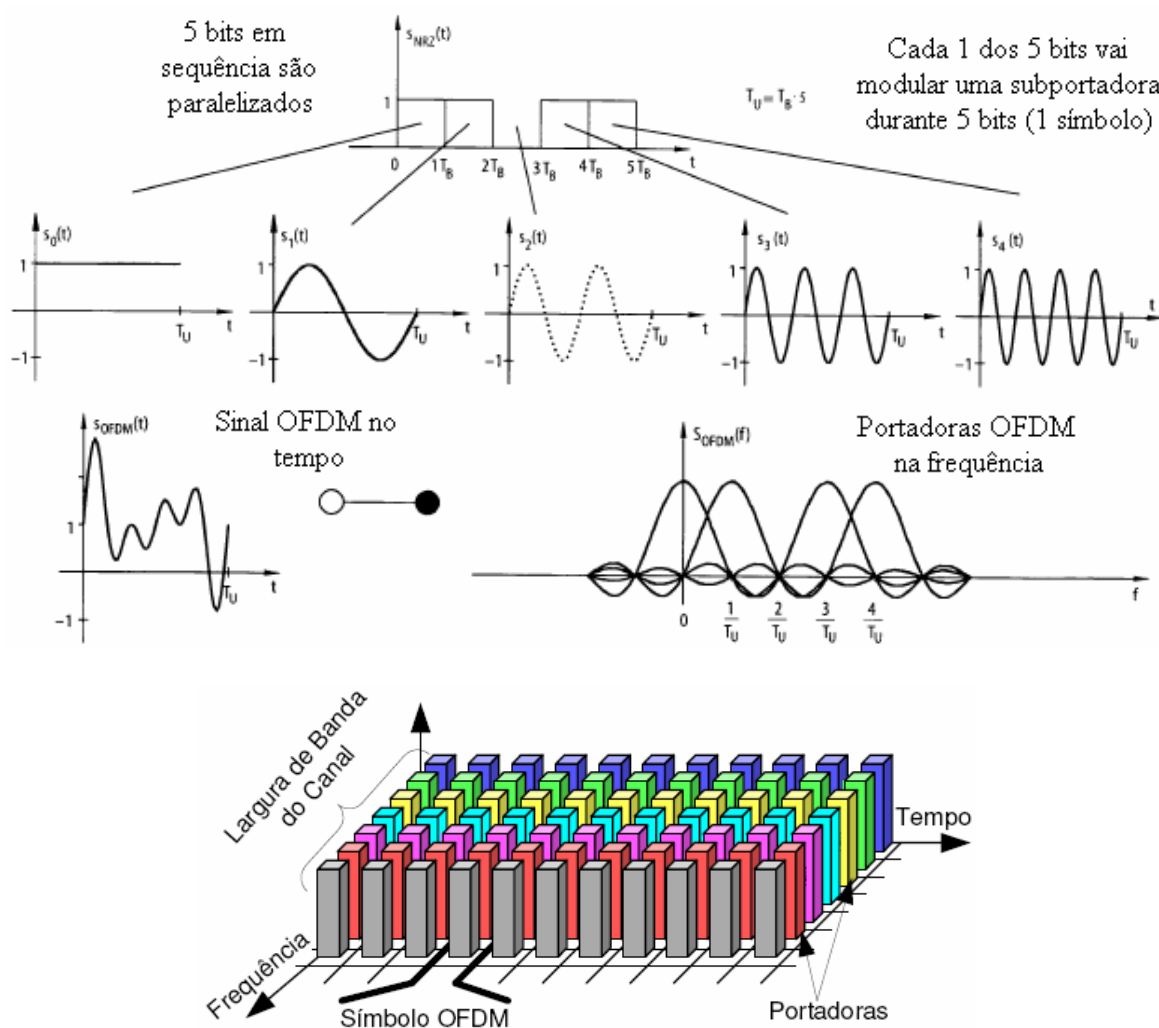


Figura 5.2 Espectro de três subportadoras formando um sinal OFDM

Exemplo de Funcionamento:**Figura 5.3: Modulação OFDM - exemplificação[10]**

Num sistema OFDM em ambiente multipercurso pode ocorrer interferência entre símbolos. Isto ocorre quando o símbolo OFDM recebido chega distorcido devido ao anterior símbolo transmitido. Enquanto que num sistema de portadora simples temos R símbolos/s, num sistema OFDM tem-se N subportadoras cada uma com R/N símbolos/s. Uma vez que o débito é reduzido por um factor de N , o período do símbolo OFDM é incrementado por um factor de N . Acontece que o comprimento do símbolo OFDM pode ser superior ao comprimento do canal. Caso isto aconteça, o início do símbolo OFDM irá ser distorcido pelo anterior símbolo transmitido. Para evitar isto deve-se colocar um intervalo de guarda entre os símbolos.

Normalmente o que se faz é utilizar um *cyclic prefix* (CP, ou prefixo cíclico em português), i.e., coloca-se no início de cada símbolo o final do símbolo, de modo a evitar os efeitos do multipercurso.

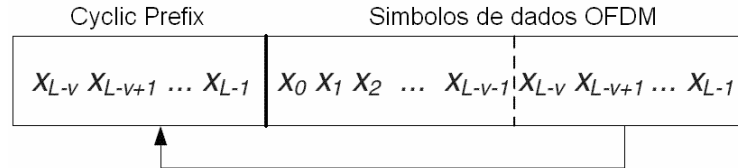


Figura 5.4: Prefixo cíclico

A inserção de um CP longo permite combater de forma mais eficaz os efeitos multipercurso, mas em contrapartida provoca perdas de energia significativas. Deve-se portanto encontrar um ponto de equilíbrio de modo a chegar a um valor de CP ideal.

Se o atraso máximo tiver uma duração ν , adicionar uma banda de guarda com duração de pelo menos $\nu+1$ garante que cada símbolo OFDM será independente do precedente e do próximo. Se representarmos um símbolo OFDM no domínio dos tempos como sendo um *array* de comprimento L teremos algo como:

$$X = [X_0, X_1, \dots, X_{L-1}]$$

que após aplicar um CP ficará:

$$X = [X_{L-v}, X_{L-v+1}, \dots, X_{L-1}, X_0, X_1, \dots, X_{L-1}]$$

À saída do canal teremos $h*X$, que em h é um vector de comprimento $\nu+1$, resultante da resposta impulsional do canal durante o símbolo OFDM e $*$ representa a convolução entre h e X . $h*X$ tem $(L+\nu)+(\nu+1)-1$ amostras em que as primeiras ν amostras são do símbolo OFDM precedente, logo são descartadas e as últimas são do CP logo também são descartadas. No final ficamos com L amostras, exactamente o correspondente aos dados do símbolo OFDM. No entanto isto acarreta um problema grave. A largura de banda terá de aumentar de B para $(L+\nu/L)B$ resultado em perdas.

As perdas serão dadas por ν/L . O valor das perdas é o valor imediatamente acima de ν/L do seguinte conjunto:

$$G = \{1/4, 1/8, 1/16, 1/32\}$$

E L deve pertencer ao conjunto $\{128, 256, 512, 1024, 2048\}$

Depois de inserir intervalos de guarda no conversor P/S (paralelo/série) no transmissor, com prefixos cíclicos, os intervalos de guarda (e com eles os prefixos cíclicos) são removidos no conversor S/P no receptor antes da conversão tomar lugar. Depois da saída do conversor S/P no receptor, passa-se para o bloco DFT.

O processo pode melhor ser compreendido observando na seguinte figura o bloco de dados de um sistema OFDM.:

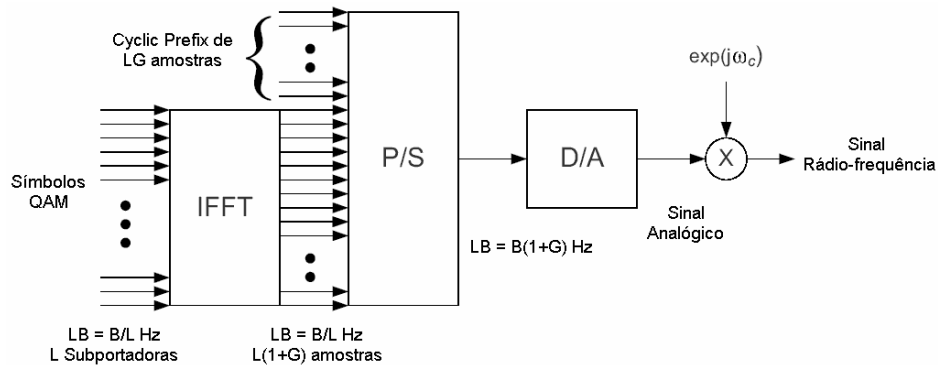


Figura 5.5: Bloco de dados de um sistema OFDM

L subportadoras são inseridas em paralelo na IFFT onde passam para o domínio dos tempos. Depois são-lhe adicionadas L CPs de tamanho G a cada uma (totalizando LG amostras). Depois passam de paralelo para série e de digital para analógico. A sua taxa de transmissão será dada por:

$$R = \frac{B}{L} \frac{\log_2(M)}{1+G} \quad \text{Eq. 5.1}$$

Cada L subportadoras com largura de banda B/L possui $\log_2(M)$ bits de dados. O $1+G$ é o preço a pagar pelo CP.

Finalmente ocorre a conversão D/A e a sequência de dados à entrada é elevada para a radiofrequência.

O receptor OFDM efectua a mesma sequência de operações que o transmissor, mas em ordem oposta.

5.2.1. Sincronização

A desmodulação dos símbolos OFDM envolve 2 tipos de sincronismo:

- Sincronização no tempo – O *offset* temporal dos símbolos não é muito prejudicial no OFDM, por isso os requisitos de sincronismo temporal são relaxados.
- Sincronização na frequência – Os requisitos impostos ao sincronismo na frequência são significativamente mais rígidos do que no tempo, uma vez que a ortogonalidade dos símbolos de dados é decisiva para o seu discernimento no domínio da frequência.

5.2.2. Factores a ponderar no desenho do OFDM

Um dos problemas do OFDM é que um sistema com muitas subportadoras irá possuir um elevado PAPR. Isto dificulta imenso as conversões de analógico para digital e vice-versa assim como impõe constrangimentos aos amplificadores de potência. O PAPR acontece porque no domínio dos tempos, o sinal resulta da soma do sinal de várias subportadoras, logo o seu valor vai variar e o seu valor de pico é muito superior ao valor médio. Temos de ter em conta este e outros factores quando desenhamos um sistema baseado em OFDM:

- Largura de banda disponível: quanto maior a largura de banda, mais subportadoras é possível acomodar com um CP razoável;
- Débito: O sistema deve ser capaz de obter os valores de débitos necessários;
- Atraso: o atraso máximo deve ser conhecido de antemão de modo a tornar possível escolher um valor apropriado para o CP;
- N° de subportadoras: quanto mais melhor para combater o efeito multipercurso, no entanto quanto mais subportadoras, mais difícil será a sincronização no receptor;
- Duração de símbolo e comprimento do CP: escolha de valores apropriados de modo a não desperdiçar largura de banda;
- Codificação FEC: de modo a evitar erros.

5.2.3. Vantagens

O OFDM possui inúmeras vantagens, tais como:

- **Complexidade computacional reduzida:** O OFDM pode ser facilmente implementado usando FFT (*Fast Fourier Transformation*) / IFFT (*Inverse Fast Fourier Transformation*), sendo que os requisitos de processamento crescem um pouco mais rápido comparando com o processamento linear da taxa de dados ou a largura de banda.
- **Exploração da diversidade da frequência:** OFDM facilita a codificação e o *interleaving* (forma de organizar dados num meio não-contíguo, isto é, colocar dados contíguos – fisicamente conectados – separadamente, de modo a aumentar o desempenho do sistema) através de subportadoras no domínio da frequência, o que pode fornecer robustez ao sistema contra os erros do tipo *burst*.
- **Utilização num esquema de acesso múltiplo:** O OFDM pode ser usado como um esquema de acesso múltiplo, onde subportadoras diferentes são partilhadas entre múltiplos utilizadores (OFDMA).
- **Robustez contra interferência narrowband:** OFDM é relativamente robusto contra interferência *narrowband* (largura de banda não excede significativamente a largura de banda de coerência do canal), desde que tal interferência afecte só uma fracção das subportadoras.

Obviamente, o débito varia consoante a modulação usada. Na seguinte tabela encontram-se, a título de exemplo, as relações entre as modulações usadas e as suas consequências na performance do sistema para um sistema Wi-Fi 802.11:

Débito (Mbps)	Modulação e taxa de código	Bits de codificação por portadora	Bits de codificação por símbolo	Bits de dados por símbolo
6	BPSK, R=1/2	1	48	24
9	BPSK, R=3/2	1	48	36
12	QPSK, R=1/2	2	96	48
18	QPSK, R=3/2	2	96	72
24	16-QAM, R=1/2	4	192	96
36	16-QAM, R=3/4	4	192	144
48	64-QAM, R=1/2	6	288	192
54	64-QAM, R=3/4	6	288	216

Tabela 5.2: Débito vs modulação no OFDM para Wi-Fi[24]

5.3. Orthogonal Frequency Division Multiple Access

Tal como dito anteriormente, a técnica multiportadora do OFDM também pode ser usada para acesso múltiplo, resultando em *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA). Em contraste com o OFDM convencional, onde todas as subportadoras são atribuídas a um utilizador, em OFDMA as subportadoras são subdivididas entre os vários utilizadores. Os principais argumentos a favor do OFDMA são o permitir diversidade multi-utilizador e alocação de recursos.

5.3.1. Estratégias de acesso múltiplo para OFDM

Tal como no caso OFDM, a cada *slot* temporal corresponde um símbolo, que por sua vez corresponde a um conjunto de subportadoras ortogonais. Mas agora cada *slot* ou subportadora pertence a vários utilizadores.

Apesar de conceptualmente simples, o OFDMA tem detalhes de implementação que merecem uma análise atenta, como é o caso das estratégias de alocação de subportadoras. A resposta às questões “*como atribuir os subcanais aos utilizadores do sistema?*” ou “*que critérios usar?*” é decisiva para a performance do sistema.

As subportadoras disponíveis podem ser divididas em vários grupos de subportadoras a que chamaremos subcanais. O WiMAX fixo baseado em OFDM restringe a atribuição de subcanais ao *uplink*. O standard define um máximo de 16 subcanais, onde 1, 2, 4, 8, ou 16 podem ser atribuídos a um cliente no *uplink*. Já o WiMAX móvel baseado em OFDMA permite subcanais no *uplink* e no *downlink* e aqui a atribuição dos subcanais é feita directamente pelos algoritmos de atribuição da estação base. Por esse motivo, há flexibilidade para se atribuírem subcanais diferentes a diferentes utilizadores num mecanismo de acesso múltiplo.

Os subcanais podem ser “constituídos” por subportadoras contíguas ou distribuídas de modo mais ou menos aleatório ao longo de todo o espectro disponível.

5.3.2. Exploração da diversidade na frequência^[17, 18]

Os subcanais de subportadoras espaçadas gozam de diversidade na frequência, o que é particularmente interessante para aplicações móveis. O WiMAX define vários esquemas de alocação de subcanais para portadoras distribuídas, como por exemplo o *partial usage of subcarriers* (PUSC). Na figura seguinte representa-se este tipo de alocação para um cenário de apenas três utilizadores. As subportadoras de cada utilizador encontram-se entrelaçadas ao longo de todo o espectro. Existem subportadoras alocadas em zonas nas quais a resposta em frequência do canal é baixa, mas também existem outras nas quais a função de transferência é melhor. Em geral, os subcanais contíguos são mais apropriados para aplicações fixas, portáteis ou com pouca mobilidade.

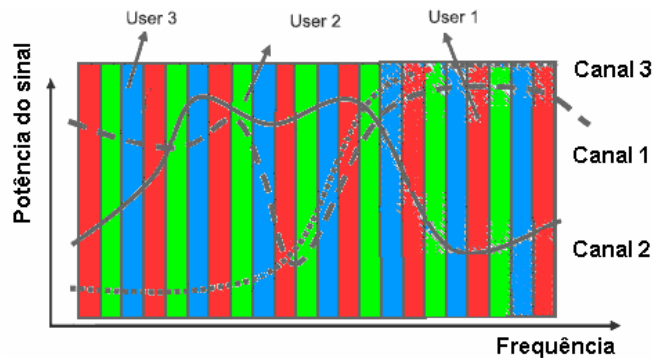


Figura 5.6: Esquema OFDM de acesso múltiplo que explora diversidade na frequência

5.3.3. Diversidade multi-utilizador^[17, 18]

Os esquemas de alocação de subcanais baseados em subportadoras contíguas em WiMAX chamam-se *band adaptive modulation and coding* (AMC). Apesar deste grupo de algoritmos perder a diversidade na frequência, ganha ao alocar subcanais com base na resposta em frequência do canal.

Uma vez que todos os utilizadores têm uma localização específica, os sinais transmitidos/recebidos pelos utilizadores sofrem respostas impulsiais diferentes. Por isso, todas as respostas impulsiais correspondentes aos diversos utilizadores vão ser diferentes.

Em OFDMA podemos tirar partido deste facto atribuindo subportadoras aos utilizadores nas frequências onde a função de transferência do canal é mais favorável. Mas para isso requer-se algum conhecimento acerca da função de transferência do canal e também algoritmos que possam regular a atribuição das subportadoras (i.e., maior complexidade de hardware).

O emprego do OFDMA está ilustrado na figura seguinte. Supõe-se um sistema com três utilizadores, onde o bloco de subportadores da esquerda é atribuído ao utilizador 1, o do meio ao utilizador 2 e o bloco da direita ao utilizador 3. Nota-se que apesar de o canal 1 ter o seu máximo no bloco de subportadoras da direita, é atribuído ao utilizador 1, porque o canal 3 é mais desfavorável no bloco da esquerda, onde o canal 1 ainda é aceitável.

A vantagem deste procedimento em OFDMA é que os vários utilizadores podem receber/enviar simultaneamente, com a função de transferência do canal optimizada para cada combinação de utilizadores. De facto a diversidade multi-utilizador pode proporcionar ganhos significativos na capacidade total do sistema, se este for programado para dar prioridade aos utilizadores cujo subcanal maximiza a SINR recebida.

Acrescenta-se ainda que existem vários algoritmos de alocação de subportadoras; alguns tentam melhorar a capacidade do sistema cegamente, ao dar prioridade ao utilizador com melhor canal, o que pode levar a situações de *starvation*. Outros, tentam ser o mais justos possível, ao minimizar ao máximo o tempo de espera e os restantes tentam o melhor compromisso entre justiça e desempenho. A norma WiMAX deixa esta questão em aberto, dando liberdade ao fabricante.

O algoritmo de alocação vem frequentemente associado à selecção da modulação e codificação de mais alto débito que pode ser suportada pela SINR do receptor de modo a que cada receptor tenha o melhor débito possível.

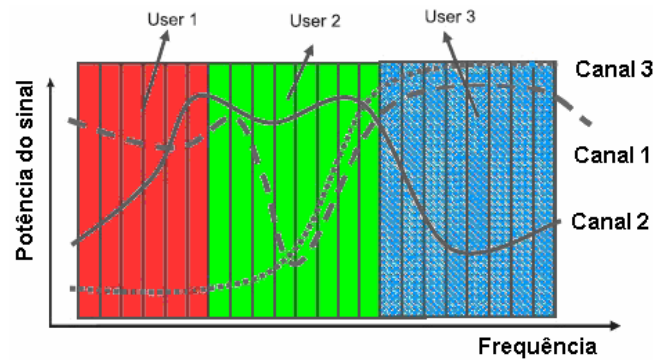


Figura 5.7: Sistema OFDM de acesso múltiplo que explora diversidade multi-utilizador

5.4. Modulação no WiMAX^[17]

No WiMAX a modulação é adaptativa. Isto quer dizer que na área coberta pela mesma célula podemos ter vários tipos de modulação em função do SNR (E_b/N_0). Em condições óptimas (com LOS e numa zona próxima da estação base) podemos ter uma modulação que permita um débito elevado, como p.e. 64-QAM. Se as condições de propagação forem menos boas, o SNR baixo e/ou a distância longa, então será necessário utilizar uma modulação que sacrifique a taxa de transmissão em prol da estabilidade da ligação (com baixa taxa de erros).

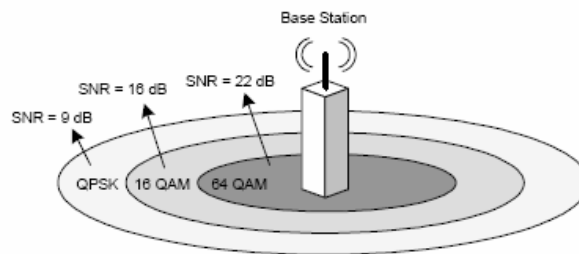


Figura 5.8: Exemplo de modulação adaptativa no WiMAX^[17]

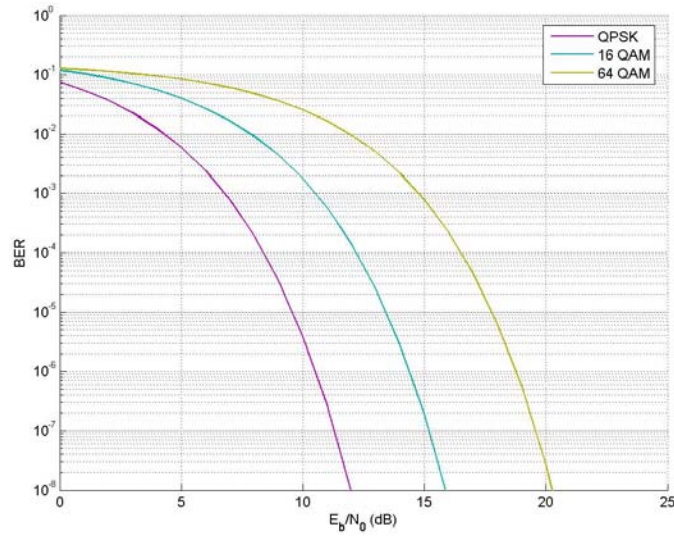


Figura 5.9: SNR vs BER (calculado usando a ferramenta ‘bertool’ do matlab)

Define-se eficiência espectral como a quantidade informação que é possível transmitir numa dada largura de banda. Esta é medida em bits/s/Hz e é dada pela expressão:

$$\eta = (1 - P_e)^n m r \quad \text{Eq. 5.2}$$

onde:

- P_e - bit error rate
- n - número de bits do bloco
- m - número de bits por símbolo
- r - taxa de código

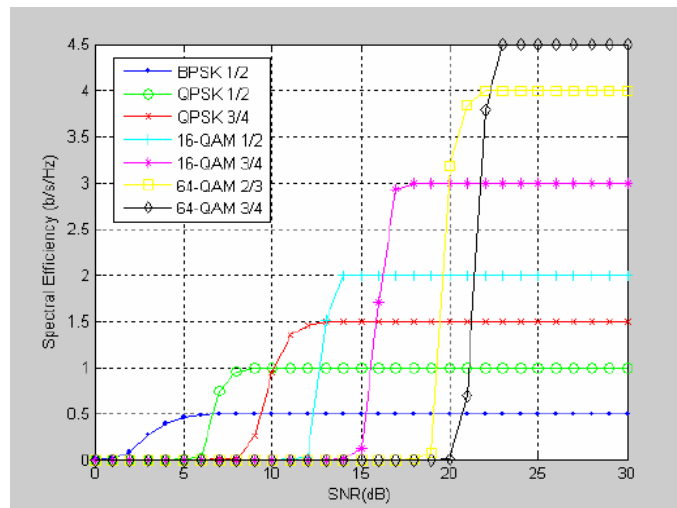


Figura 5.10: Eficiência espectral vs SNR

Da análise deste gráfico facilmente se verifica o que foi dito anteriormente: modulações como p.e. 64-QAM apenas possuem uma boa eficiência espectral para valores de SNR elevados e apesar de possuir uma alta taxa de transmissão, para valores de SNR baixos a eficiência espectral é também muito baixa. Já no que diz respeito a modulações com menores taxas de transmissão verifica-se que estas, apesar de apresentarem eficiência espectral mais baixa, são relativamente boas para valores de SNR baixos.

Existe também uma tabela pré-definida pelo IEEE com os valores mínimos de SNR para cada modulação. P.e., para SNR de 10,5 dB a modulação a utilizar será QPSK com uma taxa de código $\frac{1}{2}$ visto que esta se encontra entre 9,4 e 11,2 dB nesta tabela:

Modulação	Taxa de código	SNR mínimo (dB)
BPSK	$\frac{1}{2}$	6.4
QPSK	$\frac{1}{2}$	9.4
	$\frac{3}{4}$	11.2
16-QAM	$\frac{1}{2}$	16.4
	$\frac{3}{4}$	18.2
64-QAM	$\frac{2}{3}$	22.7
	$\frac{3}{4}$	24.4

Tabela 5.3: Valores mínimos de SNR para cada tipo de modulação[17]

Capítulo 6

Camada MAC do WiMAX

6.1. Tecnologias para melhorar a performance^[15]

O WIMAX define um número avançado de características opcionais para melhorar a performance, como o suporte para MIMO, ARQ-híbrido e a reutilização de frequências.

Sistemas de antenas sofisticados (SAS)

Os standards WIMAX apresentam um suporte extenso para implementações sofisticadas de soluções multi-antena para melhorar a performance do sistema. Este tipo de antenas garante ganhos significativos na capacidade total do sistema e na eficiência espectral. Os SAS incluem diversidade de transmissão, multiplexagem espacial e *beamforming*.

ARQ-Híbrido

Os esquemas ARQ (*Automatic Repeat Request*) são aqueles nos quais se faz uma verificação da integridade dos dados recebidos. Se a verificação falhar exige-se uma retransmissão. A verificação de integridade é feita com CRC, mas pode ser melhorada se, em adição ao CRC, se proteger a unidade de dados do *feedback* com um código corrector de erros, situação essa em que o esquema se passa a designar ARQ-Híbrido. Estes esquemas (HARQ) podem ser divididos em:

- Tipo I HARQ: Nestes esquemas, um bloco de dados errados é descartado, e as retransmissões são tratadas independentemente. Não existe tentativa de combinar blocos retransmitidos com tentativas antigas. Os blocos retransmitidos são idênticos ao bloco original.
- Tipo II HARQ: Neste tipo, um bloco errado não é descartado, mas sim combinado com retransmissões subsequentes. Os blocos retransmitidos podem ser construídos com taxa de codificação diferente da dos blocos originais. HARQ pode ser usado no modo *stop-and-wait* ou no modo de repetição selectiva. O modo *stop-and-wait* é mais simples,

mas a espera pelo *acknowledge* do receptor reduz a sua eficiência. Assim, processos múltiplos de *stop-and-wait*, na prática, são frequentemente efectuados em paralelo: quando um processo HARQ está à espera de ser reconhecido, outro processo pode utilizar o canal para enviar mais dados.

6.2. Camada MAC^[17, 40]

A camada MAC (*Media Access Control*) é responsável pela troca de pacotes de dados dentro da rede através de um canal partilhado.

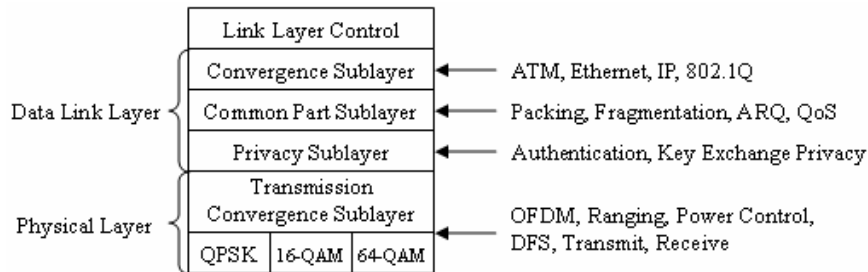


Figura 6.1: Camadas física e MAC[40]

A camada MAC faz a ponte com as camadas superiores através da *Service Specific Convergence Sublayer* (CS). Abaixo dessa camada está a *Common Part Sublayer* (CPS). A camada MAC é totalmente orientada à ligação, pelo que se torna necessário implementar um mecanismo de classificação de pacotes. Isto é feito pelo CS, que classifica os pacotes para depois os enviar para a respectiva ligação. O CPS é responsável pelo endereçamento e mecanismos de criação de ligações e a *privacy sublayer* é responsável por aspectos de segurança.

Em redes Wi-Fi, sempre que uma estação assinante quiser transmitir informação através de um *access point* (AP), tem de competir com outras estações assinantes pelo acesso ao AP. Isto resulta em maiores dificuldades de acesso ao AP por parte das estações mais afastadas do AP e ainda na possibilidade dessas estações, após terem conseguido o acesso, virem a perder o acesso mais tarde para outra estação mais próxima do AP.

No WiMAX, a camada MAC utiliza um algoritmo que permite que as estações assinantes apenas tenham de competir pelo acesso ao AP uma única vez. Uma vez conseguido o primeiro acesso, a estação base atribui um *slot* de tempo variável, que estará sempre atribuído à estação assinante que o conseguiu e não pode ser “roubado” por outras estações assinantes. O facto do *slot* ser de tempo variável possibilita à estação base controlar os parâmetros da QoS.

6.3. QoS (*Quality of Service*)^[17, 40]

Define-se QoS como a capacidade de oferecer resposta à procura de um determinado serviço numa rede de dados. Entra aqui em consideração a capacidade da rede, a sua largura

de banda e a sua capacidade para controlar *jitters* (variações indesejadas em certas características do sinal, nomeadamente atraso) e latência (intervalo de tempo que leva um processo, desde que é iniciado até se detectarem os seus efeitos).

O WiMAX foi projectado para trabalhar com vários tipos de tráfego, alguns que requerem elevada largura de banda (como p.e. vídeo) e outros que requerem pouca largura de banda (p.e. e-mail). Acontece que muitas vezes estas aplicações correm todas em simultâneo.

A grande vantagem do WiMAX relativamente às outras tecnologias sem fios (nomeadamente Wi-Fi e 3G) é que o WiMAX classifica os pacotes de dados de modo a gerir melhor a largura de banda disponível e oferecer QoS.

A seguinte tabela mostra as várias classificações possíveis, exemplos de aplicações e as características que levam em conta:

Classe	Exemplo de aplicações	Débito mínimo	Débito máximo	Latência	Jitter	Prioridade
Unsolicited Grant Service (UGS)	VoIP	x		x	x	
Real-Time Polling Service (rtPS)	Streaming	x	x	x		x
Non-Real-Time Polling Service (nrtPS)	FTP	x	x			x
Best-Effort (BE)	E-mail		x			x

Tabela 6.1: Classes QoS

6.4. Segurança^[21]

A tecnologia WiMAX incorpora os mais avançados recursos de segurança que são utilizados em sistemas de comunicações sem fios. Destes destacam-se: *Extensible Authentication Protocol* (EAP), *Advanced Encryption Standard* (AES), *Cipher-based Message Authentication Code* (CMAC) e *Hashed Message Authentication Code* (HMAC).

O processo de segurança em WiMAX é dividido em três etapas (autenticação, troca de chaves e encriptação):

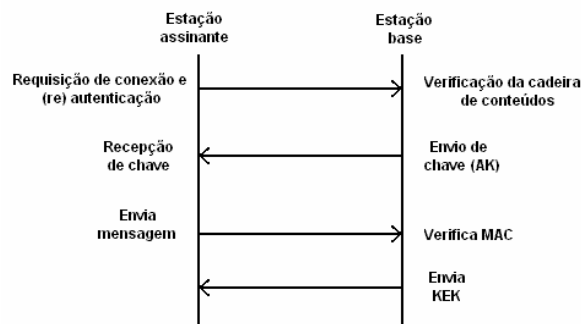


Figura 6.2: Processos de segurança – autenticação e troca de chaves

onde:

- AK – *Authentication Key*;
- MAC – *Message Authentication Code*;
- KEK – *Key Encryption Key*;
- TEK – *Traffic Encryption Key*.

No processo de autenticação, cada estação assinante tem de possuir um certificado X.509 que permite identificar o assinante. Isto dificulta bastante o acesso à rede por parte de terceiros não desejados. Uma falha do mecanismo de autenticação era o facto da estação base não necessitar identificar-se foi resolvido no padrão 802.16e com a criação do EAP.

O WiMAX encripta os dados recorrendo ao standard DES (*Data Encryption Standard*) com extensões para AES (*Advanced Encryption Standard*). Apesar do DES ser considerado um protocolo pouco seguro, o AES proporciona um elevado nível de segurança. As principais características de segurança do WiMAX são:

- Protocolo de gestão da chave: A privacidade e o protocolo de gestão da chave versão 2 (PKMv2) são a base da segurança do WiMAX móvel como está definido na norma 802.16e. Este protocolo gere a segurança MAC usando mensagens PKMREQ/RSP.
- Autenticação do dispositivo/utilizador: o WiMAX móvel suporta autenticação do dispositivo e utilizador recorrendo ao protocolo IETF EAP através do fornecimento de credenciais SIM-based, USIM-based ou *Digital Certificate* ou *username/password*.
- Encriptação de tráfego: O AES-CCM é a cifra usada para proteger todos os utilizadores de dados de operador
- Mensagens de controlo de protecção: Os dados de controlo são protegidos usando AES baseado em CMAC, ou esquemas de MD5-based HMAC.
- Suporte rápido de *handover*: Um esquema de *handshake* é suportado pelo WiMAX móvel para otimizar os mecanismos de re-autenticação de modo a suportar *handovers* rápidos.

6.5. Opções para poupança energética e mobilidade

O WiMAX possui diversas funcionalidades, tais como *sleep mode*, *idle mode* e mecanismos de *handover* de modo a suportar mobilidade. Estas funcionalidades podem ser usadas para garantir vários níveis de *handoff*, desde reentrada na rede até mobilidade total na rede. Estas funcionalidades podem também ser activadas/desactivadas ou inclusive nem sequer serem implementadas, caso a rede seja optimizada para aplicações fixas.

6.6. Architecturas MAC^[40]

Existem duas opções para a arquitectura MAC:

1. Arquitectura P2MP (*point-to-multipoint*)
 - Estação base ligada às redes públicas;
 - Estação base serve estações assinantes;
 - Cumpre a primeira etapa para que as estações assinantes possam aceder às redes públicas;
2. Arquitectura Mesh – arquitectura opcional para WiMAX.

Observe-se a figura abaixo: o WiMAX neste caso é utilizado para interligar os *hotspots* da rede Wi-Fi, que por sua vez fornece acesso aos clientes finais. A figura apresenta também o WiMAX como tecnologia para o acesso aos clientes finais utilizando as topologias ponto-multiponto (P2MP) e *mesh*.

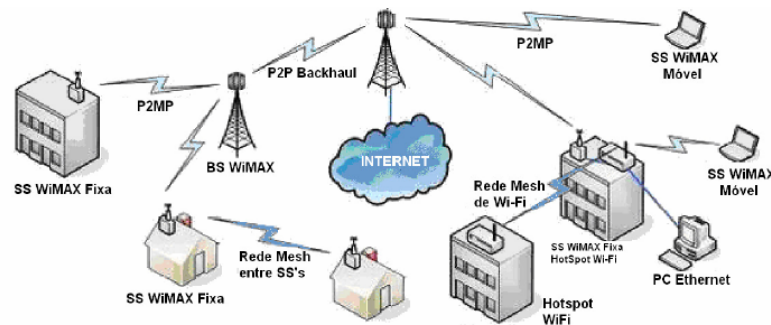


Figura 6.3: Rede WiMAX possível[40]

Ponto-multiponto

A primeira topologia desenvolvida para as redes WIMAX foi a ponto-multiponto, que permite apenas a comunicação entre a estação base e as estações assinantes; ou seja, toda a comunicação de uma estação assinante passa sempre pela estação base.

A topologia ponto-multiponto é mais barata, pois reduz a complexidade e a necessidade de equipamentos mais sofisticados (routers e comutadores) nas estações assinantes.

Mesh

Na topologia *mesh* (malha), o tráfego pode ser dividido através das estações assinantes, passando directamente entre elas sem passar pela estação base, ou seja, cada estação funciona como um nó repetidor, distribuindo tráfego para as estações vizinhas. Uma estação assinante pode-se ligar a uma ou mais estações assinantes intermediárias, até atingir a estação base. Neste caso, trata-se de uma rede *multihop*, que permite uma variedade de percursos entre o núcleo da rede e qualquer estação assinante. Devido às limitações de linha de vista, em grandes cidades, torna-se difícil atender todos os clientes de forma abrangente. Para aumentar a quantidade de utilizadores, sem acrescentar novas estações base (de custo elevado), a topologia *mesh* surge como uma alternativa para este problema.

6.7. Arquitectura de rede^[15]

A norma IEEE 802.16-2005 define o interface ar para WiMAX mas não define a rede WiMAX numa perspectiva de rede, isto é *end-to-end*. No entanto, tal não significa que o Fórum WiMAX tenha descurado esse aspecto. Bem pelo contrário: este organismo criou o *Network Working Group* (NWG) cuja função é precisamente definir os requisitos *end-to-end* da arquitectura e protocolos para WiMAX, tendo como base as camadas WiMAX PHY e MAC definidas pelo IEEE 802.16e-2005.

Em seguida olhar-se-á para a arquitectura da camada de rede e para a interacção entre os elementos da rede para além da estação assinante e estação base. Depois discute-se o modo como a gestão e controlo de sessões de voz e multimédia é feita.

6.7.1. Modelo de rede^[15, 17, 40]

O WiMAX NWG desenvolveu um modelo de base para a arquitectura de rede do WiMAX e que assegura interoperabilidade entre os vários operadores e equipamentos. Esta rede antevê uma arquitectura de rede unificada para suportar implementações fixas, portáteis e móveis e baseia-se no modelo de serviços IP. A figura 6.4 mostra uma arquitectura de rede WiMAX típica baseada em IP. A rede pode ser subdividida em três partes lógicas:

1. Estações móveis
2. *Access Service Network* (ASN) – consiste numa ou mais estações base e numa ou mais *gateways* que formam a rede de acesso rádio no limite.
3. *Connectivity Service Network* (CSN) – é responsável pela conectividade IP. A arquitectura está estruturada de modo integrar 3 tipos de entidades comerciais:
 - *Network Access Provider* (NAP) – possuiu e gere a ASN.
 - *Network Services Provider* (NSP) – garante conectividade IP e serviços WiMAX a subscritores do ASN (providenciada pela(s) NAP)
 - *Application Service Provider* (ASP) – providencia serviços de valor acrescentado como aplicações multimédia usando IMS (*IP multimedia subsystem*) e VPN (*virtual private networks*) que correm sobre IP.

Esta separação entre NAP, NSP e ASP propicia maior competição entre os servidores WiMAX e, conseqüentemente, melhores serviços.

O modelo de referência definido pelo WiMAX Forum NWG (*network group*) define ainda um conjunto de entidades funcionais e respectivas interfaces (também designados pontos de referência).

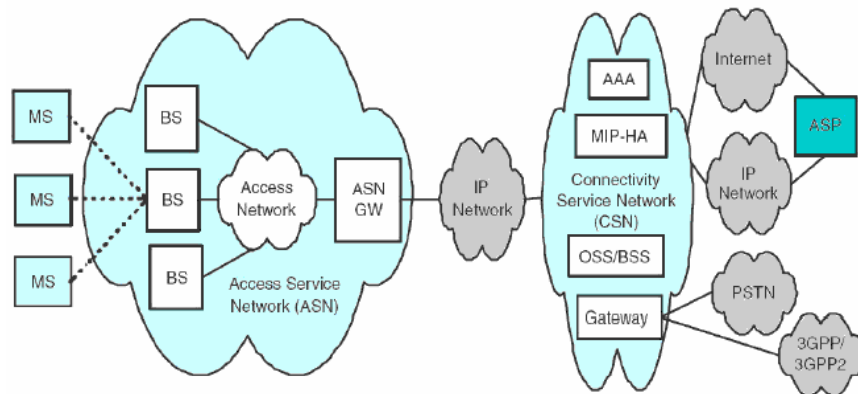


Figura 6.4: Arquitectura de rede WiMAX baseada no protocolo IP[40]

Segue-se uma elucidação das funções atribuídas a cada unidade:

- Estação Base (BS): garante interface à estação assinante (MS).
- *Access Service Network Gateway* (ASN-GW): Age como um ponto de confluência de tráfego numa ASN (ao nível da segunda camada protocolar).
- *Connectivity Service Network* (CSN): O CSN garante ligação à Internet, ASP, outras redes públicas e redes corporativas.

A arquitectura WiMAX é flexível ao ponto de permitir decomposição e/ou combinação de entidades funcionais aquando da sua implementação física. O inverso também é permitido; por exemplo, é possível colapsar a estação base e a ASN-GW numa só unidade, o que pode ser visto como uma espécie de router WiMAX. Este design permite diferenciação entre vendedores/ operadores.

Em adição às entidades funcionais, a arquitectura de referência define ainda interfaces, chamados pontos de referência, entre essas entidades funcionais. As interfaces cumprem funções no âmbito do controlo e gestão de protocolos, bem como várias funções, como mobilidade, segurança e QoS para além do transporte de dados.

6.7.2. Gestão de sessão^[17, 40]

Define-se sessão como a comunicação entre dois ou mais utilizadores durante um determinado período de tempo. Em termos electrónicos, sessão refere-se a telefonia, áudio, vídeo, transferência de dados, jogos *online*, *chats*, etc. Uma sessão pode incluir múltiplas conexões associadas, tais como por exemplo, vídeo-conferência, em que as partes de áudio e vídeo possuem conexões separadas. A gestão de sessão não é mais do que a transferência de bits de um transmissor para um receptor. Esta inclui a possibilidade de dar o consentimento às partes envolvidas na transmissão para após acederem à rede, trocar informação. Também é responsável por escolher as características e os parâmetros da comunicação, modificá-los e terminar a ligação. Tomemos o seguinte exemplo de gestão de sessão para uma aplicação

tradicional IP: para realizar um *download* através de um *web browser*, um servidor DNS (*Domain Name Server*) identifica o site, depois é utilizado o protocolo TCP para transferir os dados e a aplicação em si – *hypertext transfer protocol* (HTTP) – é usada para gerir a sessão. Um gestor de sessão tem de suportar situações "delicadas", como por exemplo, vários utilizadores a acederem a um site em simultâneo, uns querendo áudio, outros vídeo e outros ambos; neste caso o gestor de sessão tem de negociar os parâmetros e ajustar a atribuição de recursos às capacidades dos utilizadores. É necessário um bom protocolo de gestão de sessão. No caso do WiMAX este protocolo designa-se por SIP (*Session Initiation Protocol*). Este protocolo é o mesmo que já era utilizado em redes 3G. Também é necessário um protocolo de transporte que garanta a qualidade das comunicações multimédia. Este protocolo é o *Real-time Transport Protocol* (RTP).

6.7.3.1. O protocolo SIP^[17, 40]

O protocolo SIP funciona como uma componente que utilizada em conjunto com outros protocolos, forma uma arquitectura de comunicação completa. Normalmente esta arquitectura inclui protocolos como o *Real Time Protocol* (RTP) para transporte de dados em tempo real, *Session Description Protocol* (SDP) responsável por descrever as características da sessão, o *Real-Time Streaming Protocol* (RTSP) responsável por controlar a entrega de *streaming* audiovisual na *web*, ou o *Media Gateway Control Protocol* (MEGACO) responsável por controlar os *gateways* que comunicam com a rede pública de telefonia.

Como o próprio nome já diz, o *Session Initiation Protocol* (SIP) é um protocolo de inicialização de sessão e baseia-se fundamentalmente em transacções, que podem ser encaradas como uma requisição enviada de um cliente para um servidor e as posteriores respostas a essa requisição. A partir da troca inicial de mensagens, ou seja, o processo de sinalização, as partes podem estabelecer uma sessão. O facto destas mensagens serem baseadas em texto facilita a sua implementação. Iniciada a sessão, a responsabilidade de sincronização dos pacotes para que estes sejam entregues segundo uma ordem correcta fica sob responsabilidade do protocolo RTP, a de definir o conteúdo e as características da sessão fica com o SDP e assim por diante. O SIP é responsável apenas pela inicialização, gerenciamento, modificação e término das sessões.

6.7.3.2. *Real-Time Transport Protocol*^[17, 40]

O RTP é o protocolo mais popular para transferência de dados em sessões multimédia. O RTP foi desenvolvido para suprimir as limitações do TCP e do UDP no que concerne às sessões multimédia. O RTP corre sobre UDP e proporciona informação ordenada e pontual, perfeita para aplicações de tempo-real como p.e. áudio e vídeo. O cabeçalho RTP contém informação sobre o conteúdo (identificação), o método de codificação e informação temporal de modo a garantir que os pacotes são sincronizados de forma ordeira e num débito constante.

6.8. Resumo das características do WiMAX

Características	Descrição
Sem linha de Vista (NLOS)	Não necessita de visão entre a antena e o equipamento do subscritor
Modulação OFDM (<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>)	Permite a transmissão simultânea de múltiplos sinais através de cabo ou ar em diversas frequências; usa espaçamento ortogonal das frequências para prevenir interferências.
Antenas inteligentes	Suporta diversidade de antenas e mecanismos de melhoramento de eficiência espectral (MIMO, beamforming, etc.) em redes sem fios.
Topologia ponto-multiponto e de malha (<i>mesh</i>)	Suporta duas topologias de rede, serviço de distribuição multiponto e a malha para comunicação entre subscritores.
Qualidade de Serviço (QoS)	Separa os tipos de dados de tráfego em tipologias, de modo a melhorar a eficiência da velocidade de transferência.
FDM (<i>Frequency Division Multiplexing</i>) e TDM (<i>Time Division Multiplexing</i>)	Tipos de multiplexagem que suporta para proporcionar a interoperabilidade com sistemas celulares (FDM) e sem fios (TDM).
Segurança	Inclui medidas de privacidade e de criptografia inerentes ao protocolo. O standard 802.16 agrega autenticação com certificados x.509 usando DES em modo CBC (<i>CipherBlockChaining</i>).
Bandas licenciadas	Opera em banda licenciada em 2.4 GHz e 3.5 GHz para transmissões externas em largas distâncias
Bandas livres (sem licença)	Opera em banda livre em 5.8, 8 e 10.5 GHz (com variações segundo o espectro livre de cada país)
Largura de banda do canal	De 5 e 10 MHz
Codificação	Adaptativa
Modulação	Adaptativa
Equalização	Adaptativa
Potência de Transmissão	Controla a potência de transmissão
Acesso ao Meio	Mediante TDMA
Correcção de erros	ARQ (retransmissão sem fios)
Tamanho do pacote	Ajuste dinâmico do tamanho do pacote
Aprovisionamento	Aprovisionamento dinâmico de utilizadores mediante DHCP e TFTP
Taxa de transmissão	Até 75 Mbps
Espectro de frequência	<ul style="list-style-type: none"> • IEEE 802.16a entre 2-11 GHz (LOS) para comunicação entre antenas • IEEE 802.16b entre 5-6 GHz com QoS • IEEE 802.16c entre 10-66 GHz • IEEE 802.16e entre 2-6 GHz (NLOS) para distribuição a subscritores móveis.
Alcance	<ul style="list-style-type: none"> • 50 Km sem Linha de Vista • 8 – 10 Km em áreas de alta densidade demográfica
Aplicações	Voz, vídeo e dados
Fórum WiMax	Formado por 104 organizações com fabricantes de chips, equipas e prestadores de serviços. Promove a interoperabilidade entre diferentes marcas para soluções de última milha.

Tabela 6.2: Principais características da tecnologia WiMAX

Parte III

Planeamento e simulação

Capítulo 7

Planeamento da rede WiMAX^[29-33]

7.1. Introdução

Para a elaboração deste projecto foi utilizada uma das mais poderosas ferramentas de planeamento e dimensionamento de redes WiMAX da actualidade: o programa ICS Telecom da empresa ATDI. Juntamente com este programa foi adquirido um mapa cartográfico bidimensional e tridimensional da cidade de Aveiro e arredores com área total de 15Km².

O mapa compreende dois tipos de terreno (zona de edifícios e zona não urbanizada - *open area*). Foram definidos alguns valores típicos de margens para desvanecimento (apenas aplicável no modelo ITU-R 525):

Tipo de terreno	Margem para desvanecimento (dB)
<i>Open area</i>	0
Edifícios	22

Tabela 7.1: Margens para desvanecimento

Apesar dos modelos de Hata-Okumura e Cost (estudados no capítulo 2) serem modelos de referência em estudos de cobertura, não poderão ser utilizados em estudos que envolvam a tecnologia WiMAX, pois o WiMAX opera sempre acima dos 2.5GHz e estes modelos não vão além dos 2GHz. Os dois modelos mais apropriados para estudos relacionados com WiMAX são o ITU-R 525 e o SUI (note-se que o modelo SUI não opera acima dos 4GHz).

Nas seguintes imagens podemos ver o mapa utilizado para a realização do planeamento:



Figura 7.1: Mapa de Aveiro: Perspectiva 2D



Figura 7.2: Mapa de Aveiro. Perspectiva 3D

7.2. A ferramenta ATDI ICS Telecom

O programa ATDI ICS Telecom é a ferramenta de referência para o planeamento de redes de telecomunicações móveis e gestão do respectivo espectro.

A firma ATDI lançou a primeira versão do programa em 1992. Esta aplicação de software tira o máximo partido dos recursos computacionais, permitindo ao utilizador operar o sistema a uma velocidade considerável. Ao longo dos anos novas versões e *updates* foram sendo lançados no mercado, ao mesmo ritmo que novas tecnologias iam sendo lançadas, mantendo o software sempre actualizado.

A ferramenta ICS Telecom permite moldar um sistema rádio de qualquer dimensão, desde uma rede pequena local até uma rede nacional. É aplicável a todos os sistemas rádio modernos que operem entre os 68kHz e os 100GHz.

A ferramenta pode ser utilizada no planeamento e optimização de praticamente todos os sistemas de telecomunicações – quer analógicos, quer digitais – que façam uso do espectro, incluindo:

- Sistemas aeronáuticos
- TV e rádio
- Sistemas celulares
- LAN/WAN
- Sistemas militares
- Micro-ondas
- *Paging*
- Radar
- Satélite

A ferramenta cobre todos os aspectos de conectividade, tráfego, planeamento de frequências e interferência. Permite alocar o espectro de modo a partilhar as frequências disponíveis minimizando a interferência. A ferramenta permite executar diversas tarefas, por exemplo:

- Dimensionamento de infra-estruturas
- Planeamento de rede
- Gestão do espectro

7.3. Espectro

Existem várias combinações de espectro com *duplexing* e larguras de banda possíveis. Na seguinte tabela podem-se observar estas combinações. As linhas realçadas a amarelo são as que mais se adequam a Portugal (partindo do princípio que apenas se irá usar TDD), pois a ANACOM disponibiliza licenças de 28MHz na banda dos 3400-3800MHz para 802.16e (móvel) e na banda dos 5725-5850MHz para 802.16d (fixo).

Espectro (MHz)	Duplexing	Largura de banda (MHz)	FFT	Prioridade
3400-3600	TDD	3.5	256	802.16-2004
3400-3600	FDD	3.5	256	802.16-2004
3400-3600	TDD	7	256	802.16-2004
3400-3600	FDD	7	256	802.16-2004
5725-5850	TDD	10	256	802.16-2004
2495-2690	TDD	1.25, 5, 10, 20	128, 512, 1024, 2048	802.16e
2495-2690	TDD	4.375	512	802.16e
2495-2690	TDD	8.75, 15	1024	802.16e
2300-2400	TDD	1.25, 5, 10, 20	128, 512, 1024, 2048	802.16e
3300-3600	TDD	3.5	512	802.16e
3300-3600	FDD	3.5	512	802.16e
3300-3600	FDD	3.5	512	802.16e
3300-3800	TDD	4.375	512	802.16e
3300-3900	TDD	1.25, 5, 10, 20	128, 512, 1024, 2048	802.16e
3300-3900	TDD	7, 10	512, 1024	802.16e
3300-3900	FDD	7, 10	512, 1024	802.16e
3300-3900	FDD	7, 10	512, 1024	802.16e

Tabela 7.2: Espectro

Uma vez que a ANACOM disponibiliza licenças de 28MHz, ficamos limitados a usar uma largura de banda ou de 3.5MHz ou de 7MHz, no 802.16e, pois 3.5 e 7 são os únicos valores disponíveis que são múltiplos de 28. Se for utilizada uma largura de banda de 3.5MHz, as estações base terão de ser sectorizadas (mais detalhes mais adiante) em 8 (pois $8 * 3.5 = 28$) e se for utilizada uma largura de banda de 7MHz terão de ser sectorizadas em 4 ($4 * 7 = 28$). Escolheu-se para este projecto uma largura de banda de 7MHz, pois sectorizar as estações base em 8 teria custos muito elevados.

Já no que diz respeito ao 802.16d, visto que em Portugal este vai operar na gama 5725-5850MHz, ficamos limitados a uma largura de banda de 10MHz.

7.4. Project setup

A configuração de um projecto no programa ICS Telecom envolve a configuração de vários parâmetros:

- A área cartográfica.
- A localização das estações, bem como os seus respectivos parâmetros técnicos.
- A localização das estações assinantes, bem como os seus respectivos parâmetros técnicos.
- O modelo de propagação a utilizar.

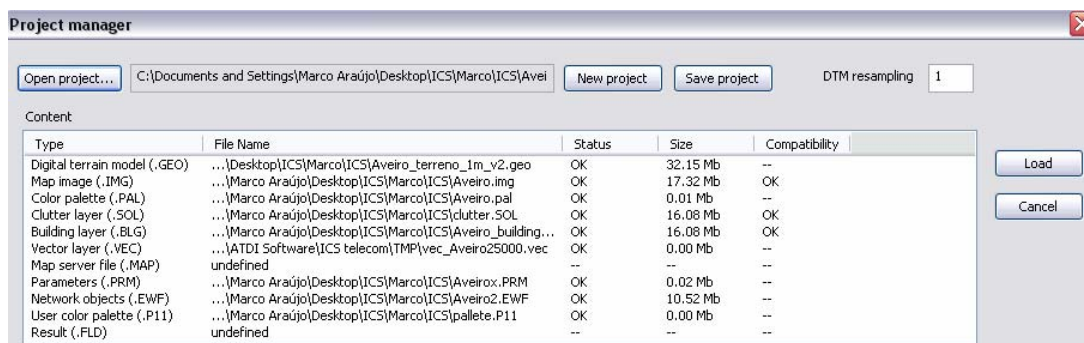


Figura 7.3: Janela de configuração do projecto

7.5. Planeamento celular

Através das figuras 2.15 e 2.16 (e juntamente com o facto do mapa ser de 15Km²) verifica-se que para cobrir a área geográfica em questão existem apenas uma possibilidade viável:

Duas estações base de 22dB_i cada para servir a zona urbana (mais populosa) + duas estações base de 18dB_i para servir as zonas suburbana e rural (menos populosas).

Existe claro está, a possibilidade de aumentar a potência das estações base, diminuindo assim o número das mesmas no terreno. No entanto esta não é uma opção viável, tendo em conta que os valores típicos máximos para os ganhos são de 23dB_i e já estamos a trabalhar com antenas de 22dB_i. Diminuir a potência também não é alternativa, pois para cobrir a mesma área com uma menor potência seriam necessárias mais estações base, encarecendo os custos (com duas de 18dB_i + duas de 22dB_i já se cobre o mapa quase à justa).

No que diz respeito ao modelo ITU-R 525, como foi dito anteriormente, é praticamente impossível fazer o cálculo manual do raio das células, pelo que nos guiamos pelo modelo SUI. No modelo SUI, pela figura 2.15 pode-se observar que para raios superiores a 1200m começa-se a tender para modulação BPSK. Tendo em conta a dimensão do mapa (15km²), quatro células com raio de 1200 metros são mais que suficientes para cobrir todo o mapa.



Figura 7.4: Mapa celular sectorizado

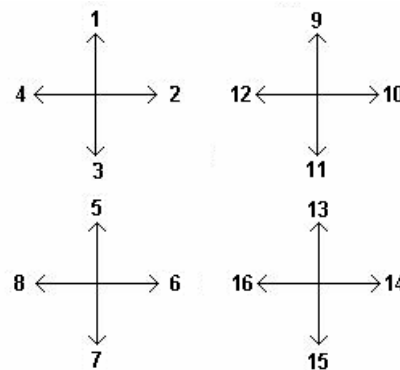


Figura 7.5: Números identificativos dos sectores das estações base

Um passo importante é a sectorização das estações base, pois esta pode melhorar a interferência (à custa de maiores *handovers*).

Conforme a estação base esteja sectorizada ou não, existem duas formas de reutilização de frequências. Veja-se o seguinte exemplo para quatro estações base:

Estações base omnidireccionais

A fórmula de reutilização de frequências é dada por:

$$N = x^2 + xy + y^2 \quad \text{Eq. 7.1}$$

Em que N é número de vezes em que a frequência é reutilizada. Por exemplo, no caso em que $N=4$ os únicos valores possíveis para x e y são 0 e 2. No planeamento de reutilização de frequências, temos uma célula com uma determinada frequência f. Andamos x células para a

direita e de seguida andamos y células num ângulo de 60° (sentido contrário aos ponteiros do relógio) e de seguida aplicamos de novo essa mesma frequência f nesta célula. Na seguinte imagem (cada cor representa uma frequência diferente) temos um exemplo para $N=7$ ($x=1$ e $y=2$):

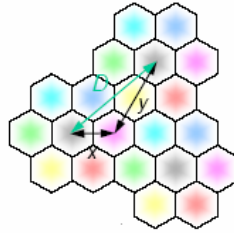


Figura 7.6: Reutilização de frequências

Estações base sectorizadas

Nesta situação a célula seguinte é exactamente igual à anterior. O que acontece aqui é que cada sector tem a sua própria frequência. Isto ajuda imenso em termos de interferência.

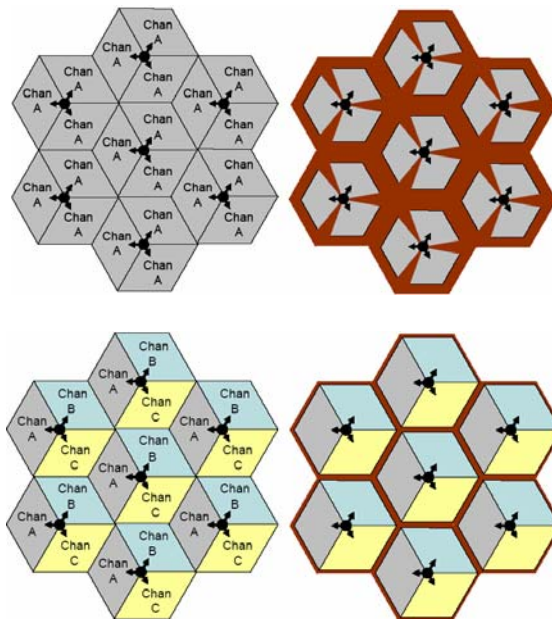


Figura 7.7: Células sectorizadas. A castanho encontra-se representada a zona onde ocorre interferência

7.6. Cálculo da largura de banda por utilizador

Em qualquer planeamento de cobertura há que definir qual o número de utilizadores que queremos ter por cada estação base e quais os serviços e débitos pretendidos. Foram definidos dois tipos de público-alvo: utilizadores residenciais (IPTV e 4Mbps para dados) e utilizadores

empresariais (sem IPTV e com 4Mbps para dados) à proporção de 2:1. Na seguinte tabela podem-se observar quais os débitos reservados para cada tipo de aplicação para o período de maior tráfego (das 8h até às 20h), onde R representa os utilizadores residenciais e E representa os utilizadores empresariais:

	Cenário	VoIP	Dados	IPTV	Stream	Jogos on-line	P2P	Video-conf.
Largura de banda necessária (Mbps)	R	0.08	4	2	0.085	0.085	0.5	0
	E	0.08	4	0	0	0	0	0.384
Eventos neste período (12h) por utilizador	R	7	6	2	0.5	0.5	3	0
	E	30	20	0	0	0	0	3
Duração média de cada utilização (min)	R	5	40	60	20	60	30	0
	E	2	10	0	0	0	0	30
Tempo de uso do serviço (min)	R	35	240	120	10	30	90	0
	E	60	200	0	0	0	0	90
Largura necessária em média por utilizador (Mbps) *	R	0.004	1.33	0.334	0.00278	0.00354	0.063	0
	E	0.007	1.11	0	0	0	0	0.048
Classes de tráfego		UGS	BE	rtPS	rtPS	rtPS	nrtPS	rtPS

Tabela 7.3: Cálculo da largura de banda por utilizador

* Fórmula de três simples. Exemplo para VoIP: se 12 horas estão para 0.08Mbps, então 35 minutos estão para x (sendo x neste caso 0.004).

Da tabela anterior é possível calcular a percentagem associada a cada classe de tráfego:

Classes de tráfego	UGS	BE	rtPS	nrtPS
%	0.436	73.824	21.965	3.775

Tabela 7.4: Percentagem associada a cada classe de tráfego

Não são feitos cálculos para o período das 20h até às 8h pois este período é de menor tráfego. Irá ser usado apenas o período de maior tráfego para calcular a cobertura. No período que vai das 8h até às 20h, somando a linha da “largura de banda necessária em média por utilizador”, chega-se à conclusão que cada utilizador consome em média 1.548Mbps (os utilizadores residenciais consomem 1.739Mbps e os empresariais 1.166Mbps).

7.7. Cobertura *indoor*

Ao contrário do modelo SUI, o modelo ITU-R 525 distingue os edifícios do resto do terreno, pelo que é possível realizar uma análise da cobertura *indoor*.

Os valores da atenuação causada pelos edifícios são dados pelo modelo ITU-R 1225:

$$PL[dB] = 40 \log(d) + 30 \log(f) + 49 + PL_{indoor-loss} + s \quad \text{Eq. 7.2}$$

em que d é a distância em km, f é a frequência em MHz, $PL_{indoor-loss}$ é atenuação provocada pela transmissão outdoor-indoor (de 2 a 12dB) e s é a variável que leva em conta o efeito do *shadowing*.

Os valores típicos da atenuação causada pelos materiais de edifícios encontram-se na seguinte figura (o simulador consegue filtrar diferentes tipos de terreno, distinguindo assim os edifícios do restante terreno, considerando que um terminal que se encontra “em cima” de um edifício no mapa, está *indoor* e os restantes estão *outdoor*):

code	material	atten (dB)	w
0	No effect	0 dB	
1	Concrete	6.00	Wall
2	Brick	6.00	Wall
3	Plaster	4.00	light wall
4	Glass	2.00	light wall
5	Metal	6.00	light wall
6	Wood	4.00	light wall
7	Furniture wood	4.00	furniture
8	Furniture metal	6.00	furniture
9	Other	0.00	other

☒ ITU R-1225 model* ☐ user attenuations: atten*factor
 Thickness factor: 1.0000
 Floor Factor (dB): 12.00 Reference floor(!): 0

* number of penetrated walls of type w * constant loss (atten dB)
 (!) use for coverage analysis and coverage interference

Figura 7.8: Valores típicos de atenuações para cobertura *indoor*

7.8. Cálculo do débito e da eficiência espectral

A capacidade depende do tipo de modulação usada, que pode ser BPSK (1 bit por símbolo), QPSK (2 bits por símbolo), 16-QAM (4 bits por símbolo) ou 64-QAM (6 bits por símbolo). O primeiro passo é calcular a frequência de amostragem. Esta é dada por:

$$Fs = BW * \frac{8}{7}, \text{ em que } BW \text{ representa a largura de banda do canal em MHz} \quad \text{Eq. 7.3}$$

No nosso caso temos $BW = 7\text{MHz}$, pelo que teremos uma frequência de amostragem de 8MHz . Uma vez que temos 1024 subportadoras (tabela 7.8), iremos ter:

$$\Delta F = \frac{F_s}{1024} = 7812.5 \quad \text{Eq. 7.4}$$

De seguida calcula-se o tempo útil de bit:

$$T_b = \frac{1}{\Delta F} = 128\mu s \quad \text{Eq. 7.5}$$

E o respectivo tempo total de duração do bit:

$$T_s = T_b + \frac{T_b}{32} = 132\mu s \quad \text{Eq. 7.6}$$

Já podemos, por fim, calcular o débito:

$$v = \frac{\text{sub} - \text{portadoras} - \text{dados} * \text{numero} - \text{bits}}{T_s} * \text{taxa} - \text{codigo} \quad \text{Eq. 7.7}$$

O número de subportadoras de dados é 768 ($1024 * \frac{3}{4}$). Vejamos um exemplo, para 64-QAM $\frac{3}{4}$ (que possui 6 bits por símbolo, como foi dito anteriormente):

$$v = \frac{768 * 6}{132\mu s} * \frac{3}{4} = 26.2\text{Mbps}$$

Por fim, a eficiência espectral será dada por:

$$E = \frac{v}{BW} \quad \text{Eq. 7.8}$$

Na seguinte tabela pode-se observar os débitos em função da modulação em Mbps:

Largura de banda (MHz)	BPSK $\frac{1}{2}$	QPSK $\frac{1}{2}$	QPSK $\frac{3}{4}$	16-QAM $\frac{1}{2}$	16-QAM $\frac{3}{4}$	64-QAM $\frac{2}{3}$	64-QAM $\frac{3}{4}$
1.75	0.73	1.04	2.18	2.91	4.36	5.94	6.55
3.5	1.46	2.91	4.37	5.82	8.73	11.6488	13.09
5	2.08	4.16	6.23	8.31	12.47	16.62	18.70
7	2.91	5.82	8.73	11.64	17.45	23.75	26.18
10	4.16	8.31	12.47	16.63	24.94	33.25	37.40
20	8.32	16.62	24.94	33.25	49.87	66.49	74.81

Tabela 7.5: Débito em função da modulação

A linha realçada a amarelo representa o nosso caso particular.

No entanto há que ter em consideração que irá ser usado um rácio *downlink/uplink* de 4:1 (ou seja, se tivermos por exemplo 640kbps, destes 512kbps serão para *downlink* e 128kbps serão para *uplink*), pelo que temos de multiplicar todos os valores desta tabela por 0.8 para obtermos os valores de débitos de *downlink* e por 0.2 para obtermos os mesmos valores, mas para *uplink*. Nas seguintes duas tabelas podemos observar os valores finais:

Largura de banda (MHz)	BPSK $\frac{1}{2}$	QPSK $\frac{1}{2}$	QPSK $\frac{3}{4}$	16-QAM $\frac{1}{2}$	16-QAM $\frac{3}{4}$	64-QAM $\frac{2}{3}$	64-QAM $\frac{3}{4}$
1.75	0,584	0,832	1,744	2,328	3,488	4,752	5,24
3.5	1,168	2,33	3,496	4,656	6,984	9,31	10,472
5	1,664	3,33	4,98	6,65	9,98	13,3	14,96
7	2,328	4,66	6,98	9,312	13,96	18,62	20,944
10	3,328	6,648	9,976	13,304	19,952	26,6	29,92
20	6,656	13,296	19,952	26,6	39,896	53,192	59,848

Tabela 7.6: Débito em função da modulação para *downlink*

Largura de banda (MHz)	BPSK $\frac{1}{2}$	QPSK $\frac{1}{2}$	QPSK $\frac{3}{4}$	16-QAM $\frac{1}{2}$	16-QAM $\frac{3}{4}$	64-QAM $\frac{2}{3}$	64-QAM $\frac{3}{4}$
1.75	0,146	0,208	0,436	0,582	0,872	1,188	1,31
3.5	0,292	0,58	0,874	1,164	1,746	2,376	2,618
5	0,416	0,83	1,25	1,66	2,49	3,32	3,74
7	0,582	1,16	1,75	2,328	3,49	4,65	5,236
10	0,832	1,662	2,494	3,326	4,988	6,65	7,48
20	1,664	3,324	4,988	6,65	9,974	13,298	14,962

Tabela 7.7: Débito em função da modulação para *uplink*

7.9. Cálculo da capacidade do sistema

A fórmula que nos permite calcular o número máximo de estações assinantes por cada sector da estação base é a seguinte:

$$\frac{\text{bit-rate}_{\text{médio}}}{\sum \%_{\text{utilizadores}} * \frac{\text{velocidade}_{\text{desejada}}}{\text{oversubscription}}} \quad \text{Eq. 7.9}$$

A certas horas do dia quando nos ligamos à Internet, esta tem um débito maior e a outras horas tem um débito menor. Isto deve-se ao facto de a certas horas estarem mais utilizadores ligados do que o permitido pela capacidade do sistema. Isto designa-se por “oversubscription”.

Como exemplo temos, enviar dois pacotes de dados a 32kbps cada um para uma porta de 64kbps. Neste caso não existe *oversubscription*. No entanto se enviarmos três pacotes de dados a 32kbps cada um para essa porta de 64kbps, vamos ter *oversubscription* de 50%. Os valores típicos de *oversubscription* em WiMAX oscilam entre 10 (melhor) e 20 (pior). Utilizar-se-à um *oversubscription* de 10 neste estudo, devido a ser um valor ótimo (mais exigente).

Para o nosso caso particular sabemos que existem cerca de 70 mil habitantes na zona abrangida pelo mapa. Assumimos então que cada casa tem em média uns 3.5 habitantes, o que dá cerca de 20 mil casas. Pretende-se que 3% destas casas possuam o sistema WiMAX (totalizando 600 estações assinantes), das quais, 2/3 serão utilizadores residenciais e 1/3 serão utilizadores empresariais. Considera-se ainda que das 600 estações assinantes, 400 encontram-se na zona urbana e 200 nas restantes zonas.

Analizando a tabela do S_R em função da frequência (tabela 4.4), conjuntamente com os gráficos 2.15 e 2.16 e com a tabela do débito de *downlink* em função da modulação (tabela 7.6), conclui-se que para uma distância média de 800 metros, a modulação é 16-QAM $\frac{3}{4}$ para as estações base de 22dBi (pois a potência recebida é de -76dBm, o que corresponde a um débito de 13.96Mbps) e QPSK $\frac{3}{4}$ para as estações base de 18dBi (pois a potência recebida é de -83dBm, o que corresponde a um débito de 6.98Mbps). Logo, atendendo a que um utilizador residencial consome em média 1.739Mbps e um utilizador empresarial consome em média 1.166Mbps, o número máximo de estações assinantes por sector será:

$$\frac{13960}{\left(\frac{2}{3} * \frac{1739}{10} + \frac{1}{3} * \frac{1166}{10}\right)} = 90 \text{ estações assinantes por sector, para as estações base de 22dBi}$$

$$\frac{6980}{\left(\frac{2}{3} * \frac{1739}{10} + \frac{1}{3} * \frac{1166}{10}\right)} = 45 \text{ estações assinantes por sector, para as estações base de 18dBi}$$

Se tivermos em consideração que cada estação base possui quatro sectores e que existem quatro estações base (duas de 18dBi e duas de 22dBi), temos que o número máximo de estações assinantes será: $8*90+8*45=1080$, o que chega perfeitamente para as nossas necessidades (pretendemos 600 estações assinantes) e ainda deixam uma boa margem de manobra, pois permite um crescimento da rede superior a 75% (claro que era sempre possível usar estações base de potências inferiores neste estudo, mas tal não seria viável, tendo em conta que uma rede móvel aquando da sua criação já deve prever um possível crescimento, quer de utilizadores, quer de tráfego, superior a 50% a médio prazo).

Infelizmente não é possível realizar cálculos teóricos relativamente à interferência (teremos de jogar com uma atribuição estratégica de frequências a cada sector) e ao *handover*. Quanto ao QoS, idealmente o sistema deverá estar acima dos 95% a maior parte do tempo e não deve nunca descer abaixo dos 90%, o que não deve ser um problema com as 600 estações assinantes. No entanto irá ser realizado um teste com 900 estações assinantes para testar a

capacidade de crescimento da rede em termos de QoS. Tudo isto só poderá ser analisado aquando da simulação, pois é impossível prever os resultados durante a fase de planeamento.

7.10. Configuração das estações base

O próximo passo é a configuração dos parâmetros das estações base no simulador. Optou-se por utilizar valores de potência e ganho elevados, mas sempre dentro de valores reais e razoáveis (i.e., valores não extravagantes), de modo a minimizar o número total de estações base. Utilizaram-se os seguintes parâmetros:

$P_t = 35\text{dBm}$
 $L_t = 1\text{dB}$
 $L_r = 1\text{dB}$
 Altura = 32m
 LB = 7 MHz

 $2x G_t = 22\text{dBi}$
 $2x G_t = 18\text{dBi}$
 $4x G_r = 20\text{dBi}$

Figura 7.9: Parâmetros das estações base

Optou-se por sectorizar as estações base de modo a diminuir a interferência, tendo sido atribuídos 7MHz a cada sector (sector 1 com 3501 a 3507MHz, sector 2 com 3508 a 3514MHz, etc.).

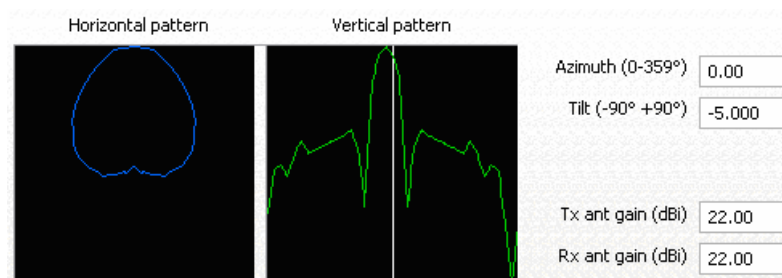


Figura 7.10: Padrão das antenas

O tilt de -5° serve para limitar a cobertura e diminuir a interferência.

O próximo passo a realizar (e provavelmente o mais importante) é configurar os parâmetros OFDMA. Apesar de passíveis de alteração, alguns valores comuns encontram-se na seguinte tabela:

Largura de banda	1.25	5	7	10	20
FFT	128	512	1024	1024	2048
Nº de subcanais	2	8	16	16	32

Tabela 7.8: Parâmetros OFDMA

Como já foi dito anteriormente, o sinal OFDM é constituído por 256 portadoras no WiMAX fixo (802.16d) e por n portadoras em WiMAX móvel (802.16e) em que n é o tamanho da FFT, sendo que apenas $3/4$ são usadas para dados. Logo se no nosso caso estamos a utilizar uma largura de banda de 7MHz com uma FFT de 1024, temos 16 subcanais, o que dá um total de $1024/16 = 64$ subportadoras por subcanal. Uma vez que das 1024 portadoras apenas 768 são usadas para dados, temos $768/16 = 48$ subportadoras para dados por subcanal. Vamos utilizar um intervalo de guarda de $1/8$, pelo que $64/8 = 8$ subportadoras para guarda. As restantes 8 subportadoras serão utilizadas como pilotos

O seguinte passo é escolher o tipo de subcanais. Temos duas escolhas, FUSC (*Full Usage of Sub-Channels*) e PUSC (*Partial of Sub-Channels*). O WiMAX não possibilita a utilização de FUSC em *uplink*, pelo que para *uplink* utilizar-se-à PUSC. Para *downlink* utilizar-se-à FUSC devido à maior eficiência deste no que diz respeito ao débito.

As subportadoras de dados e pilotos são geradas de forma diferente consoante o modo seja PUSC ou FUSC:

- FUSC: os pilotos são adicionados ao símbolo OFDMA de forma independente. As restantes subportadoras são divididas por subcanais que são usados exclusivamente para dados.
- PUSC: o conjunto de subportadoras é dividido por subcanais, sendo que as portadoras piloto também são divididas em subcanais.

7.11. Geração aleatória de estações assinantes

O primeiro passo antes de iniciar a simulação é criar as estações assinantes. Para isto é necessário estipular quantas vão existir por metro quadrado, quais as suas características de tráfego e guardar toda esta informação numa base de dados.

Recordando o que foi dito anteriormente: para o nosso caso particular sabemos que existem cerca de 70 mil habitantes na zona abrangida pelo nosso mapa. Assumimos então que cada casa tem em média uns 3.5 habitantes, o que dá cerca de 20 mil casas. Pretende-se que 3% destas casas possuam o sistema WiMAX (totalizando 600 estações assinantes), das quais, 2/3 serão utilizadores residenciais e 1/3 serão utilizadores empresariais. Considera-se ainda que das 600 estações assinantes, 400 encontram-se na zona urbana e 200 nas restantes zonas.

Definiu-se a área a rosa como sendo a zona urbana (criando-se aqui 400 estações assinantes):

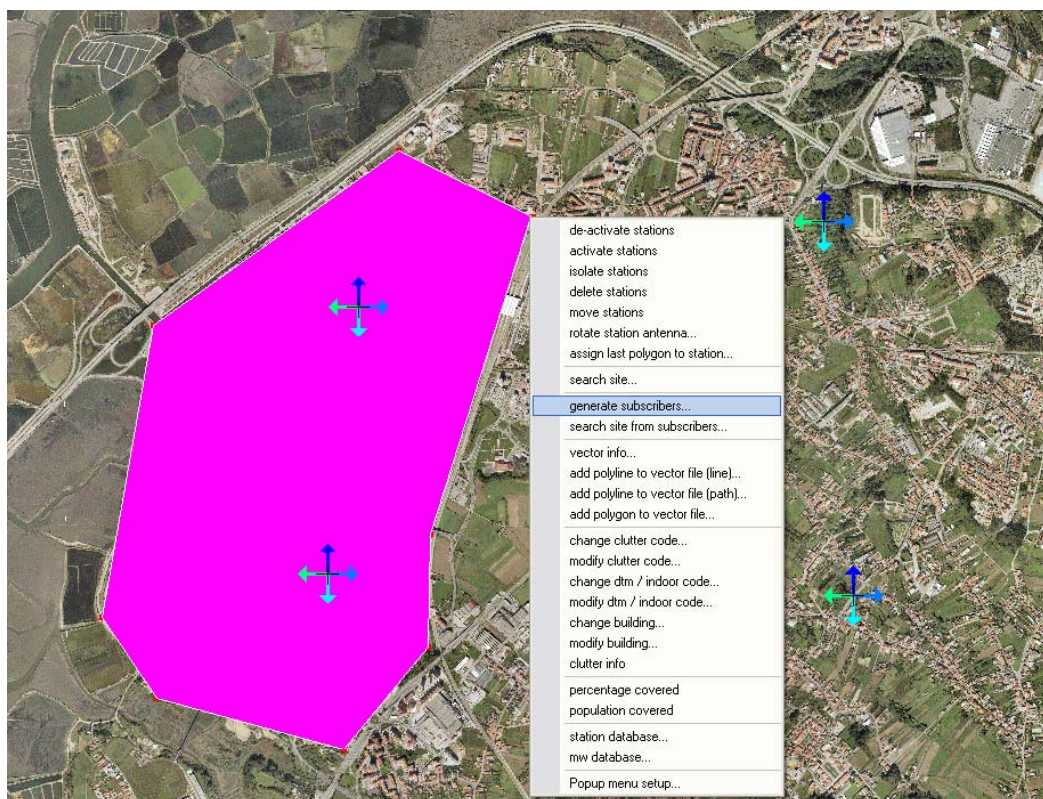


Figura 7.11: Zona urbana

De seguida geraram-se mais 200 estações assinantes fora da zona rosa (20 das quais em zonas rurais, ou seja, nas zonas onde não se visualizam casas no mapa). Neste momento encontra-se criada a base de dados, onde é necessário agora estabelecer as características técnicas (altura das antenas de 1.5 metros, factor de ruído de 4dB e ganho de recepção de 7dBi), bem como as características de tráfego:

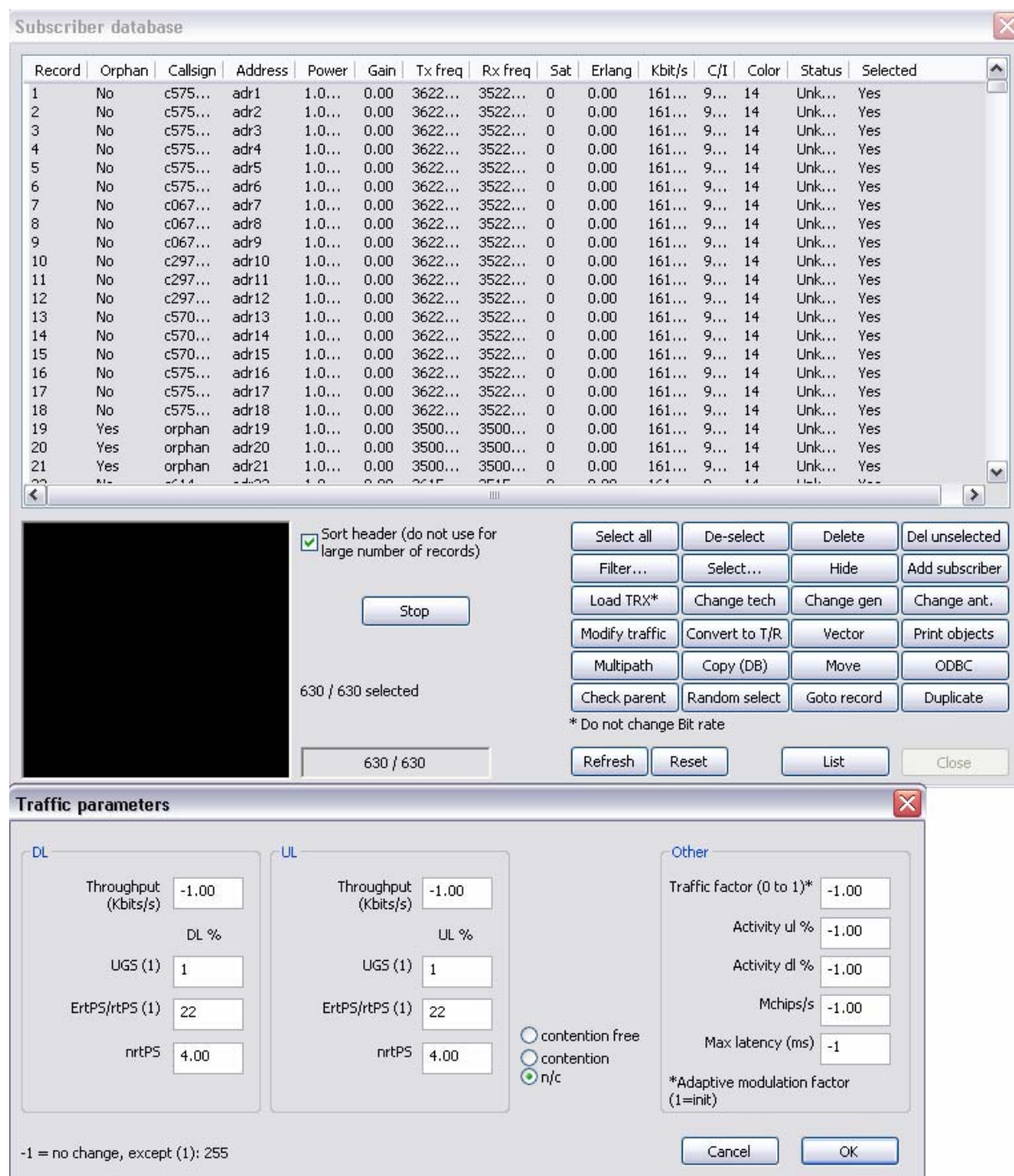


Figura 7.12: Base de dados de subscritores e parâmetros de tráfego

Agora que já temos todas as estações assinantes espalhados pelo mapa, é necessário associar cada estação assinante a uma determinada estação base. Isto chama-se de '*parenting*'. Cada estação assinante vai ligar-se à estação base que lhe proporcionar um maior débito (isto só será feito após correr primeiro uma simulação recorrendo aos modelos de propagação, de

modo a averiguar a intensidade do campo eléctrico em todo o terreno, pelo que a imagem seguinte é meramente exemplificativa):

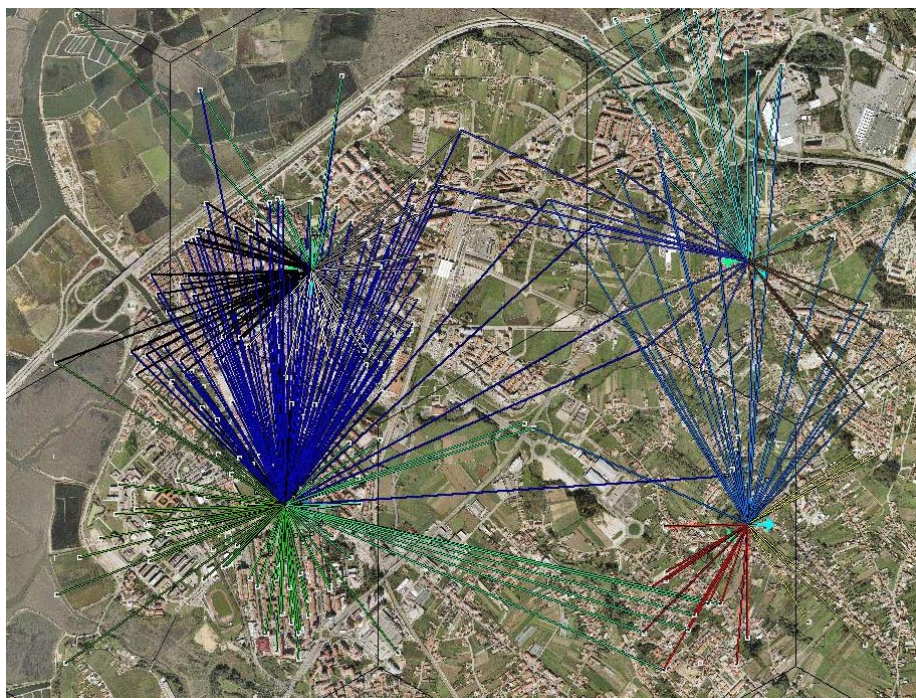


Figura 7.13: Parenting

As listagens das várias associações estação base – estação assinante (finais, após terem sido realizadas todas as simulações de cobertura) encontram-se em anexo.

As modulações no mapa serão destacadas por cores de acordo com a seguinte paleta:

>=dBm	Label	
-87	BFSK 1/2 2.32 Mbps	Blue
-84	QPSK 1/2 4.66 Mbps	Light Blue
-83	QPSK 3/4 6.98 Mbps	Cyan
-77	16-QAM 1/2 9.31 Mbps	Green
-76	16-QAM 3/4 13.96 Mbps	Yellow
-71	64-QAM 2/3 18.62 Mbps	Orange
-69	64-QAM 3/4 20.94 Mbps	Red

Figura 7.14: Paleta de cores das modulações

Capítulo 8

Análise de resultados

8.1. Análise de resultados recorrendo ao modelo SUI

Inicialmente analisou-se a cobertura utilizando a configuração base, ou seja, as quatro estações base com quatro sectores cada. De seguida com base na potência com que cada estação assinante recebia o sinal, associou-se cada uma a um sector de uma determinada estação base. Os resultados obtidos encontram-se na seguinte tabela:

Número do sector	Número de estações assinantes	Total da estação base
1	31	240
2	71	
3	46	
4	92	
5	45	216
6	35	
7	70	
8	66	
9	23	60
10	10	
11	14	
12	13	
13	36	83
14	8	
15	27	
16	12	

Tabela 8.1: *Parenting* recorrendo ao modelo SUI com todos os sectores

Pela análise da tabela acima, achou-se por bem suprimir os sectores 12, 14 e 16, pois estes possuem muito poucos utilizadores associados. Optou-se também por re-apontar os sectores 13 e 15 45° e -45° respectivamente, em relação à configuração base. Optou-se também por deslocar ambas as estações base de 18dBi um pouco mais para a direita para compensar o facto de terem sido suprimidos alguns sectores destas.

Após terem sido realizadas as alterações realizou-se uma nova análise à cobertura.

Na figura seguinte encontra-se representada a cobertura, em que cada cor corresponde a uma modulação, excepto a cor rosa que representa interferência destrutiva. Nesta figura é possível ver a nova configuração das estações base de 18dBi (as que se encontram mais à direita). Repare-se nas manchas coloridas. Estas fazem todo o sentido, pois à medida que nos vamos afastando das antenas, a cor vai mudando para uma cor associada a uma modulação mais lenta (ver figura 7.14), até ao ponto em que se chega por completo a perder o sinal.

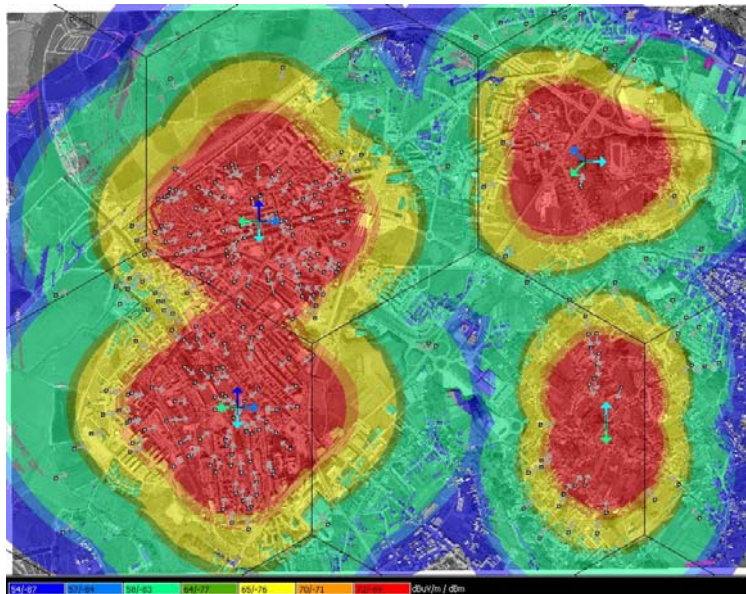


Figura 8.1: Cobertura recorrendo ao modelo SUI

A área coberta (em percentagem) é a seguinte:

BPSK $\frac{1}{2}$	QPSK $\frac{1}{2}$	QPSK $\frac{3}{4}$	16-QAM $\frac{1}{2}$	16-QAM $\frac{3}{4}$	64-QAM $\frac{2}{3}$	64-QAM $\frac{3}{4}$
13.70	4.42	32.00	4.74	17.41	4.94	22.53

Tabela 8.2: Percentagem de área cobertura em função da modulação para o modelo SUI

Isto significa que a larga maioria da zona urbana possui débitos máximos associados à modulação 64-QAM $\frac{3}{4}$ (como se pode ver no mapa, pelas manchas vermelhas). As zonas suburbanas também se encontram bem servidas como se pode observar no mapa.

Após esta análise realizou-se um novo *parenting*, cujo resultado se encontra registado na seguinte tabela:

Número do sector	Número de estações assinantes	Total da estação base
1	31	243
2	74	
3	46	
4	92	
5	45	216
6	35	
7	70	
8	66	
9	27	54
10	14	
11	13	
Sector eliminado		
13	46	86
Sector eliminado		
15	40	
Sector eliminado		

Tabela 8.3: *Parenting* recorrendo ao modelo SUI após suprimir sectores

Como se pode verificar pela tabela, o número de estações assinantes por cada estação base manteve-se praticamente inalterado, pelo que se conseguiu reduzir custos ao suprimir alguns sectores, mantendo-se a qualidade do serviço.

A área coberta totaliza 86.3184% (segundo o modelo SUI, acima de 39dBu/m temos modulação BPSK ou superior):

Figura 8.2: Área total coberta recorrendo ao modelo SUI

Apesar da área coberta estar longe dos 100%, não houve uma única estação assinante que não se encontrasse ligada a alguma estação base. Isto justifica-se pela análise do mapa de cobertura, pois por aqui verifica-se que as áreas sem cobertura (a rosa com interferência destrutiva, ou a cinza, onde o sinal não tem alcance) são zonas rurais com poucos potenciais utilizadores.

Utilizou-se o seguinte conjunto de frequências, de modo a minimizar o impacto da interferência:

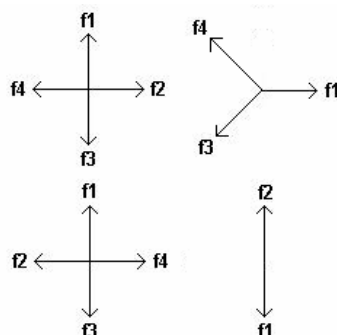


Figura 8.3: Mapa de frequências utilizado no modelo SUI

Em que $f1=3501\text{MHz}$, $f2=3508\text{MHz}$, $f3=3515\text{MHz}$ e $f4=3522\text{MHz}$. Como se pode ver, não há frequências iguais adjacentes, pelo que a interferência esperada é mínima.

Na figura seguinte, a cor rosa encontram-se representadas as zonas em que há ocorrência de interferência:

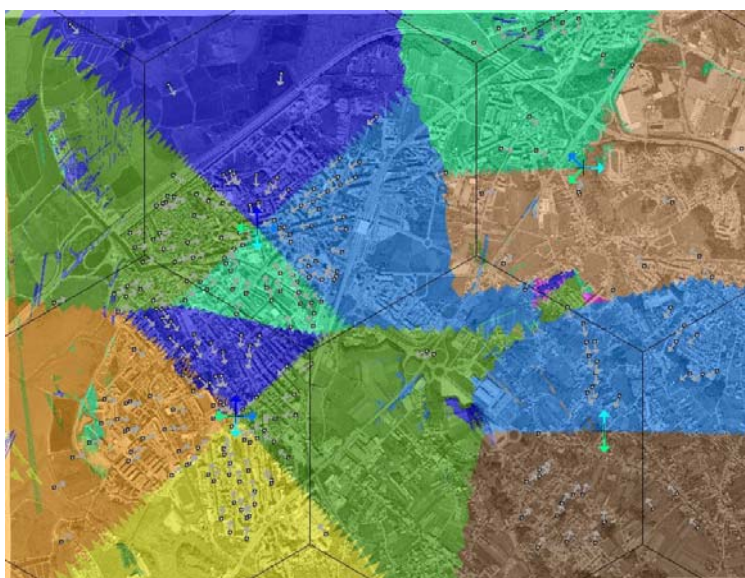


Figura 8.4: Análise da interferência recorrendo ao modelo SUI

A única explicação lógica para esta pequena mancha rosa é a frequência f3 das duas estações base superiores. Ainda assim a zona de interferência é mínima e não há forma de melhorar o conjunto de frequências de modo a eliminar esta pequena mancha sem ter de criar outra mancha algures.

Na figura seguinte, a cor rosa encontram-se representadas as zonas em que há potencial ocorrência de *handover*:



Figura 8.5: Análise do handover recorrendo ao modelo SUI

Não é nada que já não fosse de esperar. Nas zonas entre duas estações base há possibilidade de ocorrência de *handover* e nas zonas em que “caminhamos” de frente para a antena apenas captamos a sua frequência.

Na seguinte figura pode-se observar o QoS ao longo do tempo:

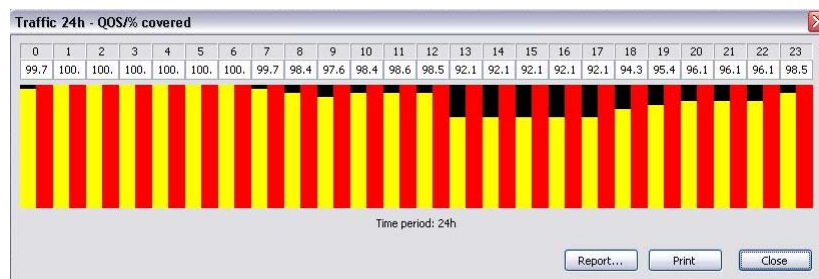


Figura 8.6: Análise do QoS recorrendo ao modelo SUI para 600 estações assinantes

Verifica-se o que já era esperado. Durante a madrugada a qualidade atinge os 100% devido

ao reduzido número de utilizadores que se encontram a utilizar o serviço. A partir das 9 da manhã a qualidade começa a reduzir-se, muito por culpa do uso empresarial do serviço. Depois da hora de almoço a maioria dos utilizadores residências começam a utilizar o serviço mais intensamente e a qualidade começa a baixar até valores próximos dos 90%. Ao final da tarde a qualidade começa a melhorar, à medida que as empresas vão encerrando.

Esta rede possui 8 sectores de 22dBi e 5 sectores de 18dBi pelo que suporta um máximo de $8*90+5*45=945$ estações assinantes a nível teórico.

No entanto a nível prático podemos obter valores diferentes. Calculando o débito médio do sistema utilizando este modelo no matlab (código em anexo), obtemos um débito médio de 11.269Mbps. Aplicando isto à Eq.7.9:

$$13 * \frac{11269}{\left(\frac{2}{3} * \frac{1739}{10} + \frac{1}{3} * \frac{1166}{10} \right)} = 946$$

O resultado prático é bastante similar ao cálculo teórico, o que é um óptimo sinal. Temos agora comprovação que o sistema suporta 946 estações assinantes (na prática).

Após adicionar 300 novas estações assinantes (200 para a zona urbana e 100 para as restantes) o QoS desceu bastante, tal como seria de esperar, devido à saturação da rede. Ainda assim mantém-se quase sempre próximo dos 90%, pelo que apesar de tudo não é um mau resultado:

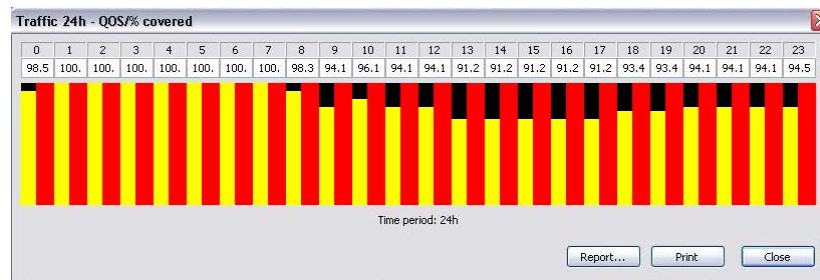


Figura 8.7: Análise do QoS recorrendo ao modelo SUI para 900 estações assinantes

8.2. Análise da cobertura recorrendo ao modelo ITU-R 525

Mais uma vez analisou-se inicialmente a cobertura utilizando a configuração base, ou seja, as quatro estações base com quatro sectores cada nas suas correspondentes posições. De seguida com base na potência com que cada estação assinante recebia o sinal, associou-se cada uma a um sector de uma determinada estação base. Os resultados obtidos encontram-se na seguinte tabela:

Número do sector	Número de estações assinantes	Total da estação base
1	26	216
2	69	
3	57	
4	64	
5	69	227
6	29	
7	64	
8	65	
9	22	65
10	8	
11	14	
12	21	
13	34	91
14	9	
15	25	
16	23	

Tabela 8.4: Parenting recorrendo ao modelo ITU-R 525 com todos os sectores

Pela análise da tabela acima, achou-se por bem suprimir os sectores 10, 11 e 14, pois estes possuem muito poucos utilizadores associados. Optou-se também por re-apontar o sector 12 -45° em relação à configuração base. Optou-se também por deslocar ambas as estações base de 18dBi um pouco mais para a direita e mais para o centro para compensar o facto de terem sido suprimidos alguns sectores da mesma.

Após terem sido realizadas as alterações realizou-se uma nova análise à cobertura.

Na figura seguinte encontra-se representada a cobertura, em que cada cor corresponde a uma modulação, excepto a cor rosa que representa interferência destrutiva. Nesta figura é possível ver a nova configuração das estações base de 18dBi (as que se encontram mais à direita e um pouco mais para o centro).

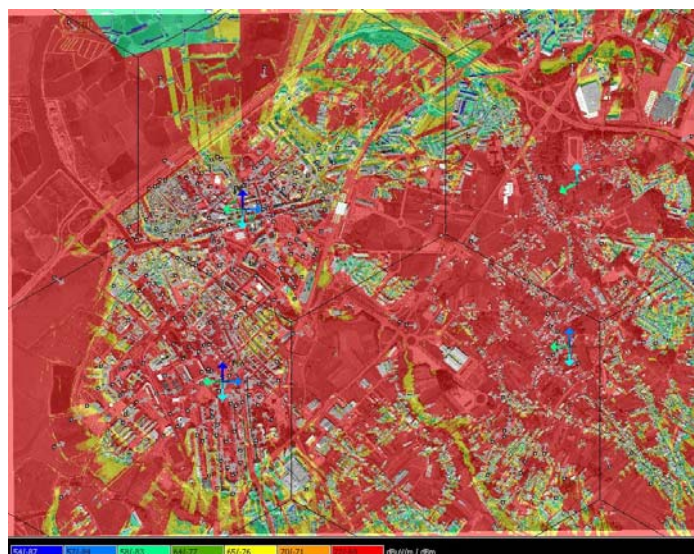


Figura 8.8: Cobertura recorrendo ao modelo ITU-R 525

A área coberta (em percentagem) é a seguinte:

BPSK $\frac{1}{2}$	QPSK $\frac{1}{2}$	QPSK $\frac{3}{4}$	16-QAM $\frac{1}{2}$	16-QAM $\frac{3}{4}$	64-QAM 2/3	64-QAM $\frac{3}{4}$
0.43	0.21	4.84	1.26	9.57	4.98	65.00

Tabela 8.5: Percentagem de área cobertura em função da modulação para o modelo ITU-R 525

Isto significa que a larga maioria (dois terços) das zonas do mapa possuem débitos máximos associadas à modulação 64-QAM $\frac{3}{4}$ (como se pode ver no mapa, pelas manchas vermelhas). Neste modelo as manchas não possuem uma forma tão definida e óbvia como no modelo SUI. Repare-se que nas zonas de edificios a cobertura é muito mais fraca que no modelo SUI, pois o modelo SUI não leva em consideração as atenuações causadas pelos edificios.

Após esta análise realizou-se um novo *parenting*, cujo resultado se encontra registado na seguinte tabela:

Número do sector	Número de estações assinantes	Total da estação base
1	29	211
2	67	
3	51	
4	64	
5	72	234
6	33	
7	64	
8	65	
9	30	54
Sector eliminado		
Sector eliminado		
12	24	100
13	39	
Sector eliminado		
15	35	
16	26	

Tabela 8.6: Parenting recorrendo ao modelo ITU-R 525 após suprimir sectores

Como se pode verificar pela tabela, o número de estações assinantes por cada estação base manteve-se praticamente inalterado, pelo que se conseguiu reduzir custos ao suprimir alguns sectores, mantendo-se a qualidade do serviço.

Sendo que a área coberta totaliza 96.6191% (segundo o modelo ITU-R 525, acima de 54dBu/m temos modulação BPSK ou superior):

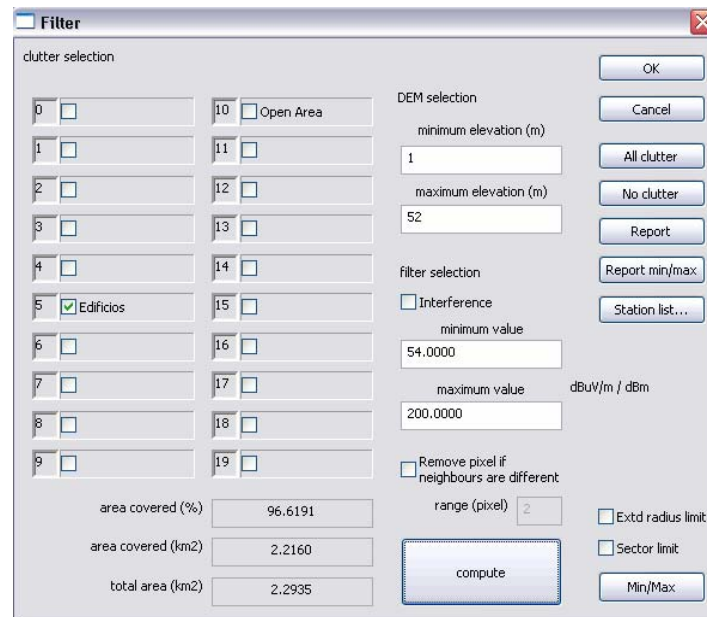


Figura 8.9: Área total coberta recorrendo ao modelo ITU-R 525

Em termos de cobertura conclui-se que este modelo é bastante mais optimista que o modelo SUI, pois não só cobre a zona com melhores modulações, mas também cobre muito mais área (chega a estar bastante próximo dos 100%). Aqui mais uma vez, todos os utilizadores conseguiram aceder ao serviço.

Utilizou-se o seguinte conjunto de frequências, de modo a minimizar o impacto da interferência:

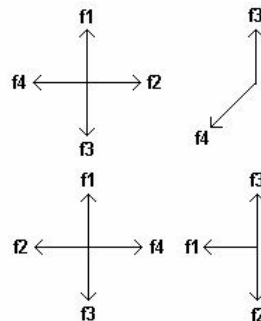


Figura 8.10: Mapa de frequências utilizado no modelo ITU-R 525

Em que $f1=3501\text{MHz}$, $f1=3508\text{MHz}$, $f1=3515\text{MHz}$ e $f4=3522\text{MHz}$. Como se pode ver, não há frequências iguais adjacentes, pelo que a interferência esperada é mínima.

Na figura seguinte, a cor rosa encontram-se representadas as zonas em que há ocorrência de interferência:

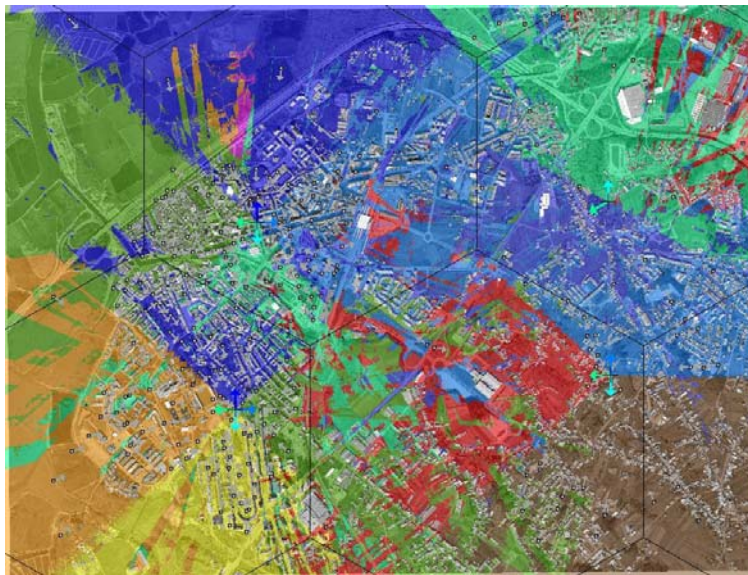


Figura 8.11: Análise da interferência recorrendo ao modelo ITU-R 525

Pode-se visualizar uma pequena mancha rosa entre os sectores 6 e 16, pois ambos utilizam a frequência f_4 . Depois temos uma mancha rosa no topo do sector 1, cuja explicação é difícil de encontrar, pois não existem frequências adjacentes nesta zona. No entanto esta mancha encontra-se fora da zona urbana, pelo que não é problemática.

Na figura seguinte, a cor rosa encontram-se representadas as zonas em que há potencial ocorrência de *handover*:



Figura 8.12: Análise do *handover* recorrendo ao modelo ITU-R 525

Apesar de este modelo ser muito mais optimista em termos de cobertura do que o modelo SUI, em relação ao *handover* é muito mais pessimista, como se pode ver na imagem, em que mais de metade do mapa possui potencial ocorrência de *handover*. Relativamente a este assunto, é algo que não se pode solucionar sem causar interferência e entre interferência e *handover*, o *handover* é sempre preferível, pois os sistemas móveis actuais permitem ocorrência de *handover* sem que o utilizador sequer se aperceba.

Na seguinte figura pode-se observar o QoS ao longo do tempo:

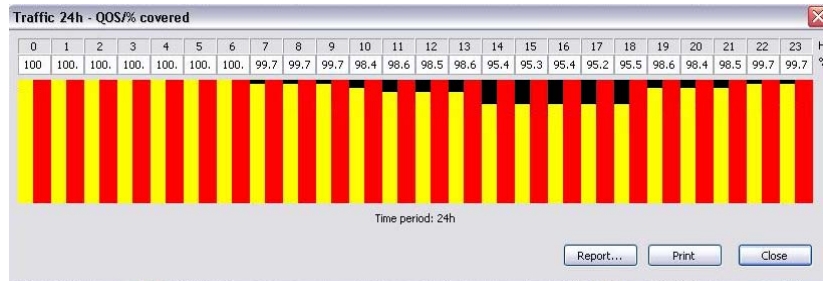


Figura 8.13: Análise do QoS recorrendo ao modelo ITU-R 525 para 600 estações assinantes

Na análise do QoS temos mais uma prova de que este modelo é mais optimista que o modelo SUI, pois este possui um QoS ligeiramente melhor que o do modelo anterior.

Na análise do QoS usando este modelo, não há nada de extraordinário em relação ao anterior. As horas de maior pico são durante a tarde, quando todos os utilizadores (quer residenciais, quer empresariais) se encontram a usufruir do serviço, logo aqui o QoS baixa, sendo que volta a subir ao final da tarde e atinge os 100% durante a madrugada.

Mais uma vez, tal como no caso anterior, esta rede possui 8 sectores de 22dBi e 5 sectores de 18dBi pelo que suporta um máximo de $8 \cdot 90 + 5 \cdot 43 = 945$ estações assinantes teoricamente. No entanto a nível prático podemos obter valores diferentes. Calculando o débito médio do sistema utilizando este modelo no matlab (código em anexo), obtemos um débito médio de 16.352Mbps. Aplicando isto à Eq.7.9:

$$13 * \frac{16352}{\left(\frac{2}{3} * \frac{1739}{10} + \frac{1}{3} * \frac{1166}{10} \right)} = 1373$$

Este valor (1373) é muito superior ao valor teórico. No entanto note-se que os cálculos teóricos foram realizados recorrendo às equações do modelo SUI, pois devido à complexidade das equações do modelo ITU-R 525, esta é a única maneira de obter um valor teórico.

Após adicionar 300 novas estações assinantes (200 para a zona urbana e 100 para as restantes) o QoS desceu um pouco, mas nada de extraordinário, pois a rede ainda está longe de esgotar a sua capacidade de 1373 utilizadores:

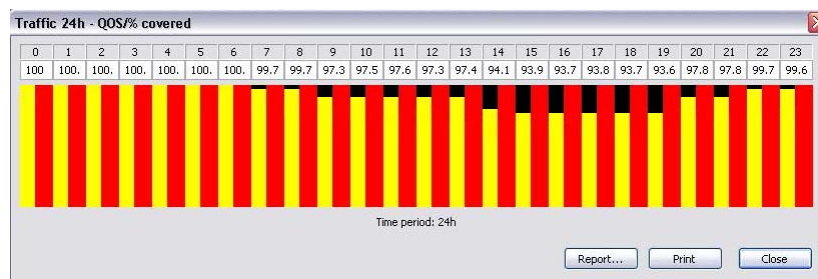


Figura 8.14: Análise do QoS recorrendo ao modelo ITU-R 525 para 900 estações assinantes

8.3. Análise para WiMAX 802.16d (fixo)

Como foi dito anteriormente, o modelo SUI apenas suporta um máximo de 4 GHz e em Portugal as licenças para o 802.16d serão no espectro de 5725 a 5850 MHz, pelo que para estudar o 802.16d será utilizado somente o modelo ITU-R. Uma vez que este modelo é para WiMAX fixo apenas será considerada a cobertura *indoor*.

Mais uma vez analisou-se inicialmente a cobertura utilizando a configuração base, ou seja, as quatro estações base com quatro sectores cada nas suas correspondentes posições. De seguida com base na potência com que cada estação assinante recebia o sinal, associou-se cada uma a um sector de uma determinada estação assinante. Os resultados obtidos encontram-se na seguinte tabela:

Número do sector	Número de estações assinantes	Total da estação base
1	33	215
2	58	
3	57	
4	67	
5	68	221
6	41	
7	62	
8	50	
9	23	72
10	16	
11	9	
12	24	
13	29	91
14	18	
15	11	
16	33	

Tabela 8.7: Parenting recorrendo ao modelo ITU-R 525 para WiMAX fixo 802.16d com todos os sectores

Pela análise da tabela acima, achou-se por bem suprimir os sectores 11, e 15, pois estes possuem muito poucos utilizadores associados. Optou-se também por re-apontar os sectores 10 e 16 +45° e -45° respectivamente, em relação à configuração base. Optou-se também por deslocar ambas as estações base de 18dBi um pouco mais para a direita e mais para o centro para compensar o facto de terem sido suprimidos alguns sectores da mesma e para se aproximarem da zona com mais densidade de edifícios.

Após terem sido realizadas as alterações realizou-se uma nova análise à cobertura.

Na figura seguinte encontra-se representado a cobertura, em que cada cor corresponde a uma modulação. Nesta figura é possível ver a nova configuração das estações base de 18dBi (as que se encontram mais à direita e um pouco mais para o centro).

Na figura seguinte encontra-se representada a cobertura *indoor*, em que cada cor corresponde a uma modulação:

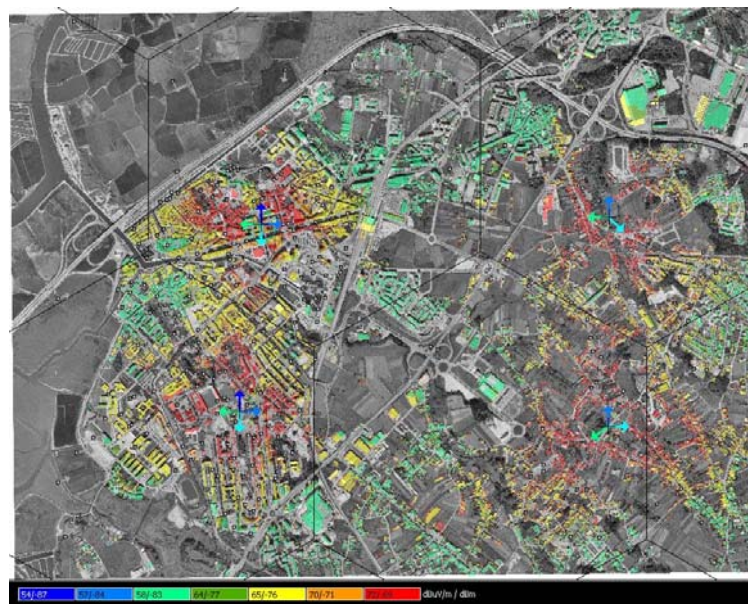


Figura 8.15: Cobertura *indoor* para WiMAX fixo recorrendo ao modelo ITU-R 525

A área coberta (em percentagem) é a seguinte:

BPSK $\frac{1}{2}$	QPSK $\frac{1}{2}$	QPSK $\frac{3}{4}$	16-QAM $\frac{1}{2}$	16-QAM $\frac{3}{4}$	64-QAM $\frac{2}{3}$	64-QAM $\frac{3}{4}$
2.11	2.08	29.14	5.87	29.50	9.02	22.27

Tabela 8.8: Percentagem de área cobertura em função da modulação para o modelo ITU-R 525 *indoor* para WiMAX fixo 802.16d

Isto significa que quase dois terços das zonas do mapa possuem débitos acima dos 14Mbps (modulação igual ou superior a 16-QAM $\frac{3}{4}$) o que é um facto notável.

Após esta análise realizou-se um novo *parenting*, cujo resultado se encontra registado na seguinte tabela:

Número do sector	Número de estações assinantes	Total da estação base
1	34	217
2	60	
3	59	
4	64	
5	71	224
6	39	
7	61	
8	53	
9	28	74
10	24	
Sector suprimido		
12	22	84
13	27	
14	25	
Sector suprimido		
16	32	

Tabela 8.9: Parenting recorrendo ao modelo ITU-R 525 indoor para WiMAX fixo 802.16d após suprimir sectores

Como se pode verificar pela tabela, o número de estações assinantes por cada estação base manteve-se praticamente inalterado, pelo que se conseguiu reduzir custos ao suprimir alguns sectores, mantendo-se a qualidade do serviço

Na seguinte figura pode-se observar o QoS ao longo do tempo para 900 estações assinantes:

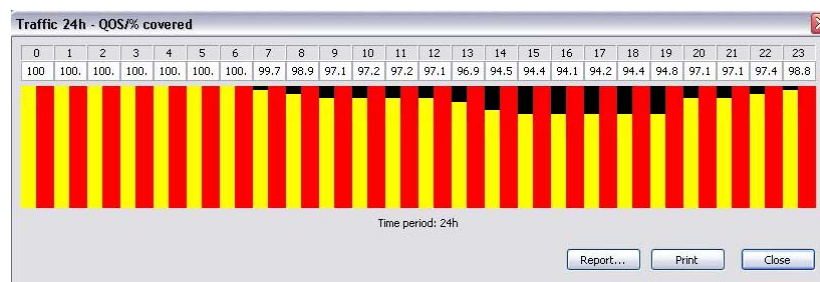


Figura 8.16: Análise do QoS recorrendo ao modelo ITU-R 525 para indoor para WiMAX fixo para 600 estações assinantes

Na análise do QoS chegamos à mesma conclusão que tínhamos chegado aquando dos testes para o modelo ITU-R 525 mas para 802.16e, no entanto para 802.16d o QoS é ligeiramente mais baixo que para 802.16e, provavelmente devido ao menor débito médio do

sistema fixo.

Nesta configuração possuímos 8 sectores de 22dBi e 6 sectores de 18dBi pelo que suporta um máximo de $8*90+6*45=990$ estações assinantes teoricamente. No entanto a nível prático podemos obter valores diferentes. Calculando o débito médio do sistema utilizando este modelo no matlab (código em anexo), obtemos um débito médio de 13.189Mbps. Aplicando isto à Eq.7.9:

$$14 * \frac{13189}{\left(\frac{2}{3} * \frac{1739}{10} + \frac{1}{3} * \frac{1166}{10} \right)} = 1192$$

Este valor (1192) é superior ao valor teórico. Provavelmente devido ao facto de que os cálculos teóricos foram realizados recorrendo às equações do modelo SUI.

Após adicionar 300 novas estações assinantes (200 para a zona urbana e 100 para as restantes) o QoS desceu um pouco, mas nada de extraordinário, pois a rede ainda está longe de esgotar a sua capacidade de 1192 utilizadores. Conseguiu cumprir o objectivo de se manter sempre acima dos 90%:

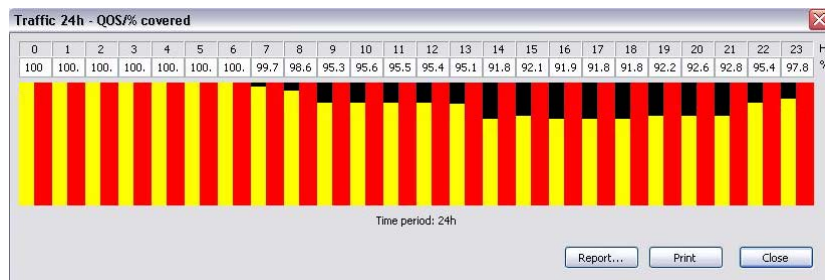


Figura 8.17: Análise do QoS recorrendo ao modelo ITU-R 525 para indoor para WiMAX fixo para 900 estações assinantes

Conclusões

Conclusões

Existe uma discrepância significativa entre os dois modelos. Infelizmente (ainda) não existe nenhum modelo apropriado para WiMAX. O modelo SUI é um modelo para BWA (*Broadband Wireless Access*) em geral e não leva em conta a altura dos edifícios, já o modelo ITU-R 525 foi originalmente concebido para sistemas via satélite, mas é adaptável ao WiMAX. Na tabela seguinte pode-se observar o número máximo de estações assinantes por cada teste realizado e os respectivos débitos médios em Mbps:

	ITU móvel	ITU fixo	SUI
Vel. média	16.352	13.189	11.269
Max SS	1373	1192	946

Tabela C.1: Número máximo de estações assinantes e débitos médios consoante o modelo

Os resultados em geral estiveram todos dentro dos valores esperados, ainda que os do modelo ITU-R 525 tenham parecido um pouco exagerados. A cobertura alcançada com ambos os modelos foi bastante boa, oferecendo-se um bom serviço de *triple-play* recorrendo a apenas quatro estações base, das quais duas de apenas 18dBi (pois para zonas suburbanas não fazia sentido utilizar potências muito elevadas). Conseguiu-se ainda eliminar custos ao suprimir 3 sectores das estações base no caso do 802.16e e 2 sectores no caso do 802.16d.

O espectro disponível foi utilizado na sua totalidade, ou seja, dos 28MHz disponíveis, utilizou-se uma FFT de 7MHz, tendo-se sectorizado as estações base em quatro ($4 \times 7 = 28$). Deixou-se ainda uma grande margem de manobra para expansão da rede (pelo modelo SUI a rede tem um crescimento potencial superior a 50% e pelo modelo ITU-R 525 tem um crescimento potencial superior a 100%).

A nível da interferência, esta praticamente não existe, muito graças à boa estratégia de atribuição de frequências realizada. Quanto ao *handover* este ficou um pouco abaixo das expectativas (particularmente no modelo ITU-R 525), pois em alguns casos as zonas de potencial *handover* ocupavam metade da área do mapa.

Em resumo, ficou criada uma rede com potencial de vir a ser concretizada a nível comercial, pois a sua boa capacidade de crescimento, aliada aos bons resultados obtidos na análise da qualidade de serviço comprovam a sua viabilidade.

Bibliografia

- [1] Wikipedia. - <http://www.wikipedia.org>
- [2] Cord Making - http://www.datafieldindia.com/cord_making.html.
- [3] Departamento de Sistemas e Controle de Energia da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Estadual de Campinas.
- [4] A. Sousa, "Apontamentos da cadeira de Sistemas de Telecomunicações", *Universidade de Aveiro*, 2006.
- [5] L. Wood, "GSM overview", 2007. - <http://info.ee.surrey.ac.uk/Personal/L.Wood/constellations/tables/gsm.html>
- [6] J. Scourias, "A Brief Overview of GSM", 1994. - <http://kbs.cs.tu-berlin.de/~jutta/gsm/js-intro.html>
- [7] ETSI, "Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Radio transmission and reception", 2005
- [8] "3G/UMTS Evolution: towards a new generation of broadband mobile services", UMTS Forum, 2006. - http://www.ums-forum.org/component/option,com_docman/task,doc_download/gid,1628/Itemid,12/
- [9] P. Monteiro, "Apontamentos da cadeira de Fundamentos de telecomunicações I", *Universidade de Aveiro*, 2005.
- [10] F. Pereira, "Apontamentos da cadeira de Comunicação de audio e vídeo", *Instituto Superior Técnico*. - http://www.img.lx.it.pt/~fp/cav/ano2007_2008/Slides/CAV_8_DVB_2008_Port_Web.pdf
- [11] U. Ladebusch and C. Liss, "Terrestrial DVB (DVB-T): A Broadcast Technology for Stationary Portable and Mobile Use", *Proceeding of the IEEE*, vol. 94.
- [12] Alvarion, "Mobile WiMAX Personal Broadband Services For Enhancing Lifestyles and Productivity." - http://www.alvarion.com/upload/images/PersonalBroadband_wp_LR.pdf
- [13] D. Gray, "Mobile WiMAX: A Performance and Comparative Summary", *WiMAX Forum*, 2006. - <http://www.docstoc.com/docs/477138/Mobile-WiMAX-Performance-and-Comparative-Summary>
- [14] E. Joys, "WiMAX - What is it? What can it be used for?", *Alcatel*, 2007. - <http://wirelesscenter.dk/arrangementer/07/wimax-mobile-access/presentations/WiMAX-CarlEdwardsJoys.pdf>
- [15] *WiMAX Forum*. - <http://www.wimaxforum.org>
- [16] S. Aarnikoivu and J. Winter, "Mobile Broadband Wireless Access," *Helsinki University of Technology*. - <http://www.tml.tkk.fi/Opinnot/T-109.7510/2006/reports/MBWA.pdf>
- [17] S. Ahmadi, "Introduction to mobile WiMAX Radio Access Technology: PHY and MAC Architecture", *Intel*, 2006. - http://www.mat.ucsb.edu/~ggroup/ahmadiUCSB_slides_Dec7.pdf

- [18] P. Hall, "Understanding the Fundamentals of WiMAX: Understanding Broadband Wireless Networking, chapter 8: PHY Layer of WiMAX", 2006.
- [19] L. Litwin and M. Pugel, "The principles of OFDM", *Thomson Multimedia*, 2001. - http://www.cs.vu.nl/~costa/cn_slides/ofdm.pdf
- [20] "Digital Modulation in Communications Systems – An Introduction," Hewlett Packard. - cmclab.rice.edu/433/notes/digitalModAppNote_HP.pdf
- [21] K. Wongthavarawat, "IEEE 802.16 WiMax Security," *National Electronics and Computer Technology Center, Thailand*, 2005. - <http://www.first.org/conference/2005/papers/kitti-wongthavarawat-slides-1.pdf>
- [22] A. Gameiro, "Apontamentos da cadeira de Comunicações sem fios", *Universidade de Aveiro*, 2007.
- [23] P. Vieira, "Apontamentos da cadeira de Propagação II", *ISEL*.
- [24] J. Neves, "Apontamentos da cadeira de Planeamento em comunicações móveis", *Universidade de Aveiro*.
- [25] M. S. Nunes, "Redes de Acesso," *IST*, 2005.
- [26] Y. Okumura, E. Ohmori, T. Kawano, and K. Fukuda, "Field Strength and Its Variability in VHF and UHF Land-Mobile Radio Service," *Review of the Electrical Communication Laboratory*.
- [27] *Institute of Radio Frequency Technology*.
- [28] P. Fonseca, "Apontamentos da cadeira Electrónica IV", *Universidade de Aveiro*.
- [29] E. Grenier, "A quick-guide to 802.16e radio-planning with ICS Telecom" ATDI, 2006.
- [30] D. Humire, "Mesh network planning in urban environment", ATDI, 2006.
- [31] E. Grenier, "Signal propagation modeling in urban environment", ATDI, 2005.
- [32] V. Roger-Machart, "Planning a WiMAX network with ICS Telecom", ATDI, 2004.
- [33] T. Garand, "Multipath in ICS Telecom", ATDI, 2005.
- [34] I. Fernandes, "Tecnologia GSM", - <http://paginas.fe.up.pt/~ee99207/Tecnologias/celulares/GSM.html>
- [35] Alvarion, "Rede de teste no Brasil". - <http://www.vivasemfio.com/blog/alvarion-wimax-equipamentos-puc-teste-brasil/>
- [36] WirelessBR, "Sistema móvel celular". - http://www.wirelessbrasil.org/wirelessbr/colaboradores/msantos/smc_04.html
- [37] DailyWireless, "Italy opens 3.5GHz for WiMAX". - <http://www.dailywireless.org/2006/12/29/italy-opens-35-ghz-for-wimax/>
- [38] T. Garand, "Wireless Broadband Network: una guia para MIMO y beamforming". - <http://infowimax.blogspot.com/2008/04/una-gua-para-mimo-y-beamforming.html>
- [39] DailyWireless, "WiMAX vs Wi-Fi". - <http://www.dailywireless.org/2004/11/24/wifi-vrs-wimax/>
- [40] L. M. Duong, "802.16 MAC layer: structure and QoS support", ATDI, 2005.
- [41] AWE Communications, "Prediction of wave propagation". - <http://www.awe-communications.com/Propagation/>
- [42] ONI Plataformas "Plano técnico da TDT em Portugal".

Apêndice

Estatística^[1, 22]

A estatística é vital no que ao planeamento de telecomunicações móveis diz respeito. Quando se faz o planeamento de uma rede de telecomunicações é usual estudar essa rede através de amostras estatísticas. Por exemplo, ao planear uma rede móvel, colocam-se várias estações, células, etc., enfim, o que for necessário para implementar a rede. Depois colocam-se vários utilizadores espalhados em locais distintos e calcula-se a intensidade com que o sinal chega a cada utilizador. Depois adicionam-se mais utilizadores ou aumenta-se ou diminui-se a potência de transmissão, ou o tamanho das células. Depois repete-se tudo, mas com os utilizadores dispersos em sítios diferentes. No final faz-se uma estatística para calcular as necessidades físicas da rede. Note-se que este é um mero exemplo, existem muitos mais, mas este serve para mostrar o quão importante é a estatística em telecomunicações.

De seguida indicam-se os principais elementos da estatística:

Média

A média define-se como a soma de um determinado número de valores a dividir pelo número total de valores. A expressão para calcular a média de n valores é dada por:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{n} (x_1 + \dots + x_n) \quad \text{Eq. A.1}$$

Em que x_1, x_2, \dots, x_n são os valores para os quais se deseja obter a média.

Mediana

A mediana indica-nos que 50% dos valores de um dado conjunto de valores estão acima dela (a mediana) e obviamente, 50% estão abaixo. Tem e se ter em especial atenção se o número total de valores do conjunto é par ou ímpar.

Caso o número de valores n seja ímpar, a mediana será o elemento central $(n+1)/2$. Para os casos em que seja par, a mediana será o resultado da média simples dos elementos $n/2$ e $(n/2)+1$. Os modelos de propagação dão meramente os valores medianos das perdas de percurso.

Moda

A moda é o valor que detém o maior número de observações, ou seja, o valor ou valores mais frequentes. É especialmente útil quando os valores ou observações não são numéricos, uma vez que a média e a mediana podem não ser bem definidos.

Desvio padrão

O desvio-padrão define-se como a raiz quadrada da variância. Num ruído branco gaussiano a variância é a potência deste mesmo ruído.

Por exemplo, no conjunto $\{4, 8\}$, a média é 6 e os desvios da média são $\{-2, 2\}$. Estes desvios elevados ao quadrado são $\{4, 4\}$, sendo a sua média (ou seja, a variância) 4. Portanto, o desvio padrão é 2.

Funções de probabilidade

A função densidade de probabilidade utiliza-se em estatística com o propósito de conhecer como se distribuem as probabilidades de um evento em relação ao resultado de um evento. Matematicamente a FDP (função densidade de probabilidade) é a derivada da função distribuição de probabilidade e é sempre não negativa.

A probabilidade de que X tome um valor no intervalo $[a,b]$ é a área debaixo da curva da função de densidade, definida por:

$$\int_a^b f(x)dx = 1 \quad \text{Eq. A.2}$$

Distribuição normal ou Gaussiana

A distribuição normal é a distribuição de probabilidade mais frequente em estatística e probabilidade. Foi desenvolvida pelo matemático francês Abraham de Moivre. A equação da curva Normal é especificada usando dois parâmetros: a média μ , e o desvio padrão σ . Define-se $N(\mu, \sigma^2)$ como a curva Normal com média μ e variância σ^2 . A média refere-se ao centro da distribuição e o desvio padrão ao espalhamento da curva. A distribuição normal é simétrica em torno da média o que implica que a média, a mediana e a moda são todas coincidentes. A equação da curva é dada pela expressão:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad \text{Eq. A.3}$$

Na figura pode-se ver como a média representa sempre o centro da curva e como a variância representa o espalhamento da curva:

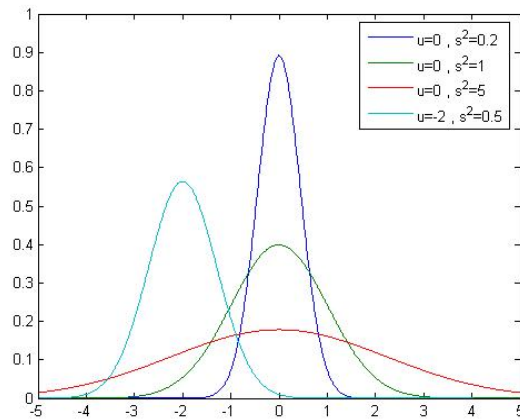


Figura A.1: Distribuição normal para vários valores de μ e σ

A área sob a curva normal é sempre 1. Então, para quaisquer dois valores específicos é possível determinar a proporção de área sob a curva entre esses dois valores. Para a distribuição Normal, a proporção de valores dentro de 1, 2 ou 3 desvios padrão da média é:

Range	Proportion
$\mu \pm 1\sigma$	68.3%
$\mu \pm 2\sigma$	95.5%
$\mu \pm 3\sigma$	99.7%

Esta distribuição caracteriza não só a distribuição de amplitude do ruído branco nos sistemas de telecomunicações assim como é usada em modelos de sinal onde o móvel está sujeito a muitas componentes multipercurso nenhuma delas com potência dominante. As componentes cartesianas seguirão uma distribuição gaussiana.

Distribuição log-normal

A distribuição log-normal é baseada na distribuição normal. Em probabilidade e estatística, uma variável aleatória X tem distribuição log-normal quando o seu logaritmo $Y = \log(X)$ tem distribuição normal. Isto é valido para valores positivos de x . A sua função densidade é:

$$f(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(x)-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad \text{Eq. A.4}$$

Quanto à média, quando Y é uma variável aleatória normal, é dada por:

$$E[X] = E[e^Y] = e^{E[Y] + \frac{\text{var}[Y]}{2}} \quad \text{Eq. A.5}$$

em que $\text{var}[Y]$ é a variância de Y .

Relativamente à variância da distribuição log-normal, esta é dada pela expressão

$$\text{var}[X] = e^{2 \cdot E[Y] + \text{var}[Y]} \cdot e^{\text{var}[Y] - 1} \quad \text{Eq. A.6}$$

Possui a seguinte FDP:

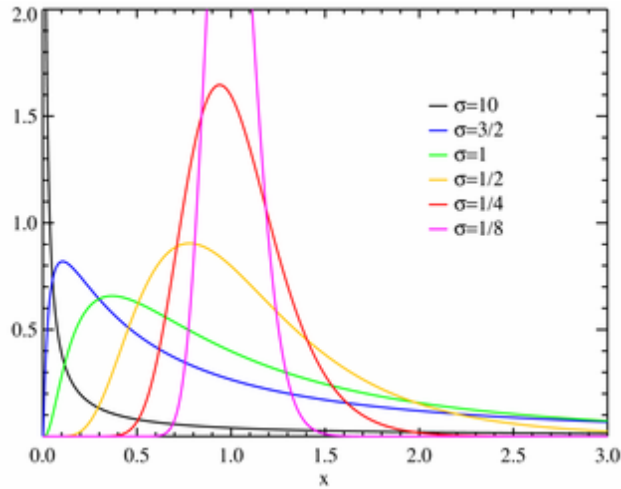


Figura A.2: Função densidade de probabilidade lognormal

A atenuação por *shadowing* por exemplo segue uma distribuição log-normal que é usada nos simuladores de canal rádio, juntamente com os modelos de perdas de percurso, para determinar a probabilidade de cobertura que é apresentada em relatórios de desempenho. Outros parâmetros, tal como duração de desvanecimentos, seguem uma distribuição deste tipo.

Distribuição de Rice

A expressão da função densidade de probabilidade e da média de Rice são:

$$FDP = f(x | v, \sigma) = \frac{x}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + v^2}{2\sigma^2}\right) I_0\left(\frac{xv}{\sigma^2}\right) \quad \text{Eq. A.7}$$

$$\text{Média} = \sigma \sqrt{\frac{\pi}{2}} L_{1/2}(-v^2 / 2\sigma^2) \quad \text{Eq. A.8}$$

Esta distribuição é particularmente útil quando temos um raio dominante sobre todos os outros, i.e., para além dos diversos raios que atingem o destino depois de serem reflectidos, existe um raio directo que obviamente se destaca em relação aos demais. A figura seguinte mostra vários raios com amplitude similar e um outro raio de amplitude muito superior. Estamos neste caso perante uma distribuição de Rice.

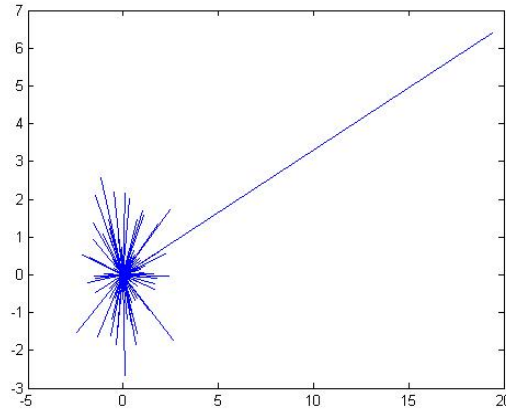


Figura A.3: Vários vectores exemplificativos da distribuição de Rice

A função densidade de probabilidade é a seguinte:

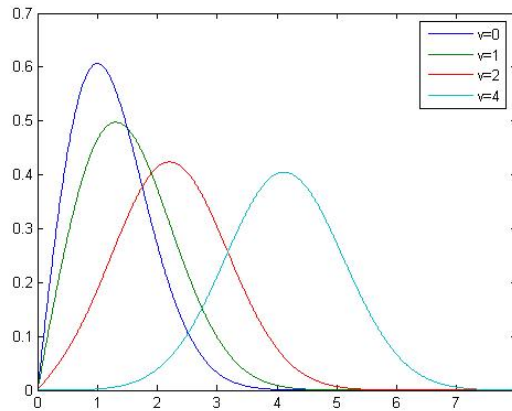


Figura A.4: Função densidade de probabilidade de Rice com desvio padrão 1

Distribuição de Rayleigh

Se duas variáveis independentes y_1 e y_2 forem independentes uma da outra e normalmente distribuídas, com igual variância, então a variável $x = \sqrt{y_1^2 + y_2^2}$ irá seguir uma distribuição de Rayleigh. Um bom exemplo é a distância de dardos em relação ao alvo, num jogo de dardos, onde os erros nas duas dimensões do plano são independentes e normalmente distribuídos.

As suas principais fórmulas são as seguintes (em que σ é o desvio padrão):

$$\text{FDP: } f(x | \sigma) = \frac{x \cdot e^{\frac{-x^2}{2\sigma^2}}}{\sigma^2} \quad \text{Eq. A.9}$$

$$\text{Média: } \sigma \sqrt{\frac{\pi}{2}} \quad \text{Eq. A.10}$$

$$\text{Variância: } \frac{4 - \pi}{2} \sigma^2 \quad \text{Eq. A.11}$$

A distribuição de Rayleigh é apropriada para os casos em que o móvel apenas receba componentes através de multi-percurso, de forma que não haja nenhuma componente cuja amplitude se destaque quando comparada à amplitude das outras (ao contrário da distribuição de Rice em que para além raios reflectidos, existe um raio directo cuja amplitude se destaque em relação aos demais).

A figura seguinte mostra vários raios, todos com amplitude similar. Enquanto as componentes cartesianas seguem uma distribuição gaussiana de média nula a amplitude segue uma distribuição de Rayleigh.

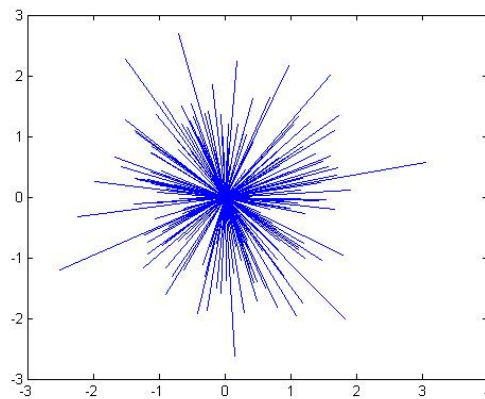


Figura A.5: Vários vectores exemplificativos da distribuição de Rayleigh

A sua função densidade de probabilidade é a seguinte:

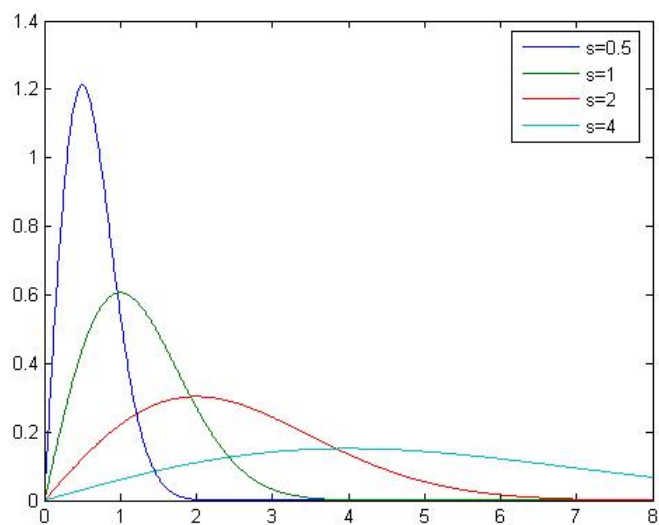


Figura A.6: Função densidade de probabilidade de Rayleigh

A seguir mostra-se um gráfico comparativo de três distribuições:

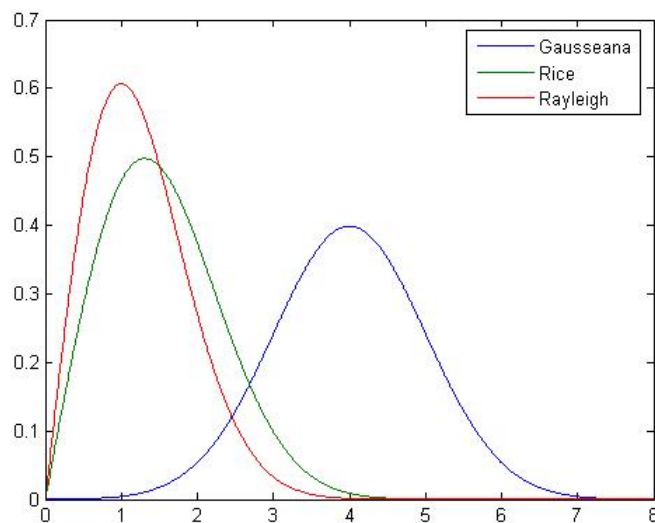


Figura A.7: Comparação entre as diversas distribuições. Todas têm a mesma área (1), no entanto a gaussiana é perfeitamente simétrica ao invés das restantes.

Anexos

Código Matlab usado para gerar os gráficos dos modelos de propagação:

Modelo Hata-Okumura em ambiente suburbano

```
d = linspace(1,20,1000);
area_suburbana=1;
for i=1:4
    if (i==1)
        f= 150;
        h_r = 5;
        h_eff = 100;
    end
    if (i==2)
        f= 150;
        h_r = 10;
        h_eff = 200;
    end
    if (i==3)
        f= 350;
        h_r = 5;
        h_eff = 100;
    end
    if (i==4)
        f= 350;
        h_r = 10;
        h_eff = 200;
    end

    if (area_suburbana==1)
        c=(1.1*log10(f) - 0.7) * h_r - (1.56*log10(f) - 0.8);
    end

    a=69.55 + 26.16 * log10(f) - 13.82 * log10(h_eff) - c + (44.9 -
6.55 * log10(h_eff)) * log10(d);

    if (i==1)
        a1=a;
    end
    if (i==2)
        a2=a;
    end
    if (i==3)
        a3=a;
    end
    if (i==4)
        a4=a;
    end
end
plot(d,a1, d,a2, d,a3, d,a4)
xlabel('d(km)')
ylabel('PL(d)')
legend('f=150, H_rx=5, H_eff=100', 'f=150, H_rx=10, H_eff=200',
'f=350, H_rx=5, H_eff=100', 'f=350, H_rx=10, H_eff=200')
title(['f (MHz), H_rx (m), H_eff (m)'])
grid on
```

Modelo Hata-Okumura em ambiente rural

```
d = linspace(1,20,1000);
area_suburbana=1;

for i=1:4
    if (i==1)
        f= 150;
        h_r = 5;
        h_eff = 100;
    end
    if (i==2)
        f= 150;
        h_r = 10;
        h_eff = 200;
    end
    if (i==3)
        f= 350;
        h_r = 5;
        h_eff = 100;
    end
    if (i==4)
        f= 350;
        h_r = 10;
        h_eff = 200;
    end
    if (area_suburbana==1)
        c=(1.1*log10(f) - 0.7) * h_r - (1.56*log10(f) - 0.8);
    end

    a=69.55 + 26.16 * log10(f) - 13.82 * log10(h_eff) - c + (44.9 - 6.55
* log10(h_eff)) * log10(d);
    a_rural = a - 2 * (log10(f/28))^2 - 5.4;

    if (i==1)
        a1=a_rural;
    end
    if (i==2)
        a2=a_rural;
    end
    if (i==3)
        a3=a_rural;
    end
    if (i==4)
        a4=a_rural;
    end
end
plot(d,a1, d,a2, d,a3, d,a4)
xlabel('d(km)')
ylabel('PL(d)')
legend('f=150, H_rx=5, H_eff=100', 'f=150, H_rx=10, H_eff=200',
'f=350, H_rx=5, H_eff=100', 'f=350, H_rx=10, H_eff=200')
title(['f (MHz), H_rx (m), H_eff (m)'])
grid on
```

Modelo COST 231 Walfisch-Ikegami com NLOS em centro urbano

```
urbano=1;
suburbano=0;
LOS=0;
d=linspace(1,5,1000);
phi=90;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
for i=1:4
    if (i==1)
        f=1000;
        h_base=10;
        h_mobile=1;
        h_roof=30;
        w=15;
        b=30;
    end
    if (i==2)
        f=1000;
        h_base=30;
        h_mobile=3;
        h_roof=90;
        w=45;
        b=90;
    end
    if (i==3)
        f=2000;
        h_base=10;
        h_mobile=1;
        h_roof=30;
        w=15;
        b=30;
    end
    if (i==4)
        f=2000;
        h_base=30;
        h_mobile=3;
        h_roof=90;
        w=45;
        b=90;
    end

    if (phi>0 && phi<=35)
        L_ori= -10 + 0.354*phi;
    end
    if (phi>35 && phi<=55)
        L_ori= 2.5 + 0.075*(phi-35);
    end
    if (phi>55 && phi<=90)
        L_ori= 40 - 0.114*(phi-55);
    end
end
```

Modelo COST 231 Walfisch-Ikegami com NLOS em centro urbano (continuação)

```
delta_h_mobile = h_roof - h_mobile;
delta_h_base = h_base - h_roof;
L_rts = -16.9 - 10*log10(w) + 10*log10(f) +
20*log10(delta_h_mobile) + L_ori;

if (h_base>h_roof)
    L_bsh= -18*log10(1 + delta_h_base);
end
if (h_base<=h_roof)
    L_bsh= 0;
end

if (h_base>h_roof)
    ka=54;
end
if (h_base<=h_roof)
    if (d>=0.5)
        ka=54 - 0.8*delta_h_base;
    end
    if (d<0.5)
        ka=54 - 0.8*delta_h_base*2*d;
    end
end

if (h_base>h_roof)
    kd=18;
end
if (h_roof>=h_base)
    kd = 18 - 15*(delta_h_base/h_roof);
end
if (urbano==1)
    kf = -4 + 1.5*((f/925)-1);
end
if (suburbano==1)
    kf = -4 + 0.7*((f/925)-1);
end

L_msd = L_bsh + ka + kd*log10(d) + kf*log10(f) - 9*log10(b);

if (LOS==1)
    Lb=42.6 + 26*log10(d) + 20*log10(f);
end
L0=32.4 + 20*log10(d)+20*log10(f);
if (LOS==0)
    if ((L_rts + L_msd) <=0)
        Lb=L0;
    end
    if ((L_rts + L_msd) >0)
        Lb=L0 + L_rts + L_msd;
    end
end
```

Modelo COST 231 Walfisch-Ikegami com NLOS em centro urbano (continuação)

```
if (i==1)
    Lb1=Lb;
end
if (i==2)
    Lb2=Lb;
end
if (i==3)
    Lb3=Lb;
end
if (i==4)
    Lb4=Lb;
end
end

plot(d,Lb1, d,Lb2, d,Lb3, d,Lb4)
xlabel('d(km)')
ylabel('PL(d)')
legend('f=1000, H_B_A_S_E=10, H_M_O_B_I_L_E=1, H_R_O_O_F=30, w=15,
b=30', 'f=1000, H_B_A_S_E=30, H_M_O_B_I_L_E=3, H_R_O_O_F=90, w=45,
b=90', 'f=2000, H_B_A_S_E=10, H_M_O_B_I_L_E=1, H_R_O_O_F=30, w=15,
b=30', 'f=2000, H_B_A_S_E=30, H_M_O_B_I_L_E=3, H_R_O_O_F=90, w=45,
b=90')
title(['f (MHz), H_B_A_S_E (m), H_M_O_B_I_L_E (m), H_R_O_O_F (m)'])
grid on
```

Modelo COST 231 Walfisch-Ikegami com LOS em centro urbano

```
d=linspace(1,5,1000);

for i=1:4
    if (i==1)
        f=150;
    end
    if (i==2)
        f=350;
    end
    if (i==3)
        f=1000;
    end
    if (i==4)
        f=2000;
    end

    Lb=42.6 + 26*log10(d) + 20*log10(f);

    if (i==1)
        Lb1=Lb;
    end
    if (i==2)
        Lb2=Lb;
    end
    if (i==3)
        Lb3=Lb;
    end
    if (i==4)
        Lb4=Lb;
    end
end

plot(d,Lb1, d,Lb2, d,Lb3, d,Lb4)
xlabel('d(km)')
ylabel('PL(d)')
legend('f=150', 'f=350', 'f=1000', 'f=2000')
title(['f (MHz)'])
grid on
```


Modelo SUI:

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Calculo da potência recebida em função da distância %
% para o modelo SUI. Obtenção das figuras 2.15 e 2.16 %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

BPSK_1_2 = -102+6.4+10*log10((8)*(3/4));
QPSK_1_2 = -102+9.4+10*log10((8)*(3/4));
QPSK_3_4 = -102+11.2+10*log10((8)*(3/4));
QAM16_1_2 = -102+16.4+10*log10((8)*(3/4));
QAM16_3_4 = -102+18.2+10*log10((8)*(3/4));
QAM64_2_3 = -102+22.7+10*log10((8)*(3/4));
QAM64_3_4 = -102+24.4+10*log10((8)*(3/4));
MOD=[BPSK_1_2 QPSK_1_2 QPSK_3_4 QAM16_1_2 QAM16_3_4 QAM64_2_3
QAM64_3_4];
lambda=(3e8)/(3.5e9);

Pt=35;
Lt=1;
Gt=22; % substituir por Gt=18; para obtencao da figura 2.16
Gr=7;
Lr=1;
hb=32;
d=2;

aA=4.6;
bA=0.0075;
cA=12.6;
sA=8.2;
gamaA=aA-bA*hb+(cA/hb);

aB=4;
bB=0.0065;
cB=17.1;
sB=8.2;
gamaB=aB-bB*hb+(cB/hb);

aC=3.6;
bC=0.005;
cC=20;
sC=8.2;
gamaC=aC-bC*hb+(cC/hb);

Xf=6*log10(3.5/2);
Xh_A_B=-10.8*log(1.5/2);
Xh_C=-20*log(1.5/2);
```

```

%%%%%%%%%%%%%%
% Continuação %
%%%%%%%%%%%%%%

grid on
for i=1:7
    Sr=MOD(i);
    num=((Pt-Lt+Gt+Gr-Lr)-Sr-
(20*log10((4*pi*100)/lambda)+Xf+Xh_A_B+sA));
    den=(10*gamaA);
    plot(MOD(i),(100*(10^(num/den))), 'kx')
    hold on
end

hold on
grid on

for i=1:7
    Sr=MOD(i);
    num=((Pt-Lt+Gt+Gr-Lr)-Sr-
(20*log10((4*pi*100)/lambda)+Xf+Xh_A_B+sB));
    den=(10*gamaB);
    plot(MOD(i),(100*(10^(num/den))), 'rx')
    hold on
end

hold on
grid on

for i=1:7
    Sr=MOD(i);
    num=((Pt-Lt+Gt+Gr-Lr)-Sr-(20*log10((4*pi*100)/lambda)+Xf+Xh_C+sC));
    den=(10*gamaC);
    plot(MOD(i),(100*(10^(num/den))), 'bx')
    hold on
end

hold on
legend('Terreno A', 'Terreno B', 'Terreno C')
xlabel('P_R [dBm]')
ylabel('d [m]')

```

Código Matlab usado na Parte III:

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Cálculo da velocidade media do sistema e número máximo de SS %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% [BPSK 1/2 QPSK 1/2 QPSK 3/4 16-QAM 1/2 16-QAM 3/4 64-QAM 2/3 64-QAM 3/4];

SUI = [13.7 4.42 32 4.74 17.41 4.94 22.53];
ITU_movel = [0.43 0.21 4.84 1.26 9.57 4.98 65];
ITU_fixo = [2.11 2.08 29.14 5.87 29.5 9.02 22.27];

Vel = [2.328 4.66 6.98 9.312 13.96 18.62 20.944];

x=SUI.*Vel;
y=x(1);
for i=2:7
    y=x(i)+y;
end
vel_media_SUI = y/100;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
x=ITU_movel.*Vel;
y=x(1);
for i=2:7
    y=x(i)+y;
end
vel_media_ITU_movel = y/100;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
x=ITU_fixo.*Vel;
y=x(1);
for i=2:7
    y=x(i)+y;
end
vel_media_ITU_fixo = y/100;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

Max_SS_SUI =
    (vel_media_SUI*1000*13)/(((2/3)*(1739/10))+((1/3)*(1166/10)))
Max_SS_ITU_movel =
    (vel_media_ITU_movel*1000*13)/(((2/3)*(1739/10))+((1/3)*(1166/10)))
Max_SS_ITU_fixo =
    (vel_media_ITU_fixo*1000*14)/(((2/3)*(1739/10))+((1/3)*(1166/10)))
```

Código Matlab usado para gerar os gráficos e figuras do apêndice:

Figura A.1: Distribuição normal para vários valores de μ e s

```
x = linspace(-5,5,1000);
plot(x, normpdf(x,0,sqrt(0.2)), x, normpdf(x,0,1), x,
normpdf(x,0,sqrt(5)), x, normpdf(x,-2,sqrt(0.5)))
legend('u=0 , s^2=0.2', 'u=0 , s^2=1', 'u=0 , s^2=5', 'u=-2 , s^2=0.5')
```

Figura A.3: Vários vectores exemplificativos da distribuição de Rice

```
y=zeros(1,100);
for i=1:99
    x=[0 (randn(1) + j*randn(1))];
    plot(real(x),imag(x))
    hold on
    y(i)=x(2);
    i=i+1;
end
x=[0 150*mean(y)];
plot(real(x),imag(x))
```

Figura A.4: Função densidade de probabilidade de Rice com desvio padrão 1

```
x = linspace(0, 8, 1000);
figure
plot(x, ricepdf(x, 0, 1), x, ricepdf(x, 1, 1), x, ricepdf(x, 2, 1), x,
ricepdf(x, 4, 1))
legend('v=0', 'v=1', 'v=2', 'v=4')
```

Figura A.5: Vários vectores exemplificativos da distribuição de Rayleigh

```
for i=1:200
    x=[0 (randn(1) + j*randn(1))];
    plot(real(x),imag(x))
    hold on
    i=i+1;
end
```

Figura A.6: Função densidade de probabilidade de Rayleigh

```
% se apanharmos na formula da FDP de Rice e substituirmos 'v' por zero
% obtemos a FDP de Rayleigh - P.S. em matlab: ricepdf(X,V,S)
x = linspace(0, 8, 1000);
figure
plot(x, ricepdf(x, 0, 0.5), x, ricepdf(x, 0, 1), x, ricepdf(x, 0, 2), x,
ricepdf(x, 0, 4))
legend('s=0.5', 's=1', 's=2', 's=4')
```

Nota: foi necessário fazer download de uma função matlab (ricepdf) para realizar FDPs de Rice e de Rayleigh, visto que o matlab não as inclui. O download foi feito de:

<http://www.mathworks.com/matlabcentral/files/14237/rician.zip>

PARENTING – Modelo SUI

Subscriber	BST #	Call-sign	FSR (dBuV/m)	PR (dBm)	Distance (m)	Azimuth (°)
adr1	2	c650776	84.8	-56.3	239	22.92
adr2	2	c650776	84.8	-56.3	239	22.92
adr3	2	c650776	84.8	-56.3	239	22.92
adr4	6	c067812	56.7	-84.4	1344	234.15
adr5	6	c067812	56.7	-84.4	1344	234.15
adr6	6	c067812	56.7	-84.4	1344	234.15
adr7	2	c650776	62.8	-78.3	883	3.51
adr8	2	c650776	62.8	-78.3	883	3.51
adr9	2	c650776	62.8	-78.3	883	3.51
adr10	13	c819025	51.5	-89.5	1724	317.35
adr11	13	c819025	51.5	-89.5	1724	317.35
adr12	13	c819025	51.5	-89.5	1724	317.35
adr13	4	c344065	59.1	-82.1	1299	72.76
adr14	4	c344065	59.1	-82.1	1299	72.76
adr15	4	c344065	59.1	-82.1	1299	72.76
adr16	6	c067812	60.0	-81.1	1218	248.47
adr17	6	c067812	60.0	-81.1	1218	248.47
adr18	6	c067812	60.0	-81.1	1218	248.47
adr19	6	c067812	63.3	-77.9	1055	255.67
adr20	6	c067812	63.3	-77.9	1055	255.67
adr21	6	c067812	63.3	-77.9	1055	255.67
adr22	16	c575182	58.2	-83.0	1354	250.00
adr23	16	c575182	58.2	-83.0	1354	250.00
adr24	16	c575182	58.2	-83.0	1354	250.00
adr25	16	c575182	71.2	-69.9	621	302.23
adr26	16	c575182	71.2	-69.9	621	302.23
adr27	16	c575182	71.2	-69.9	621	302.23
adr28	8	c240669	60.0	-81.1	839	135.58
adr29	8	c240669	60.0	-81.1	839	135.58
adr30	8	c240669	60.0	-81.1	839	135.58
adr31	10	c435254	60.8	-80.4	709	25.30
adr32	10	c435254	60.8	-80.4	709	25.30
adr33	10	c435254	60.8	-80.4	709	25.30
adr34	3	c880794	60.0	-81.2	1039	318.67
adr35	3	c880794	60.0	-81.2	1039	318.67
adr36	3	c880794	60.0	-81.2	1039	318.67
adr37	4	c344065	59.4	-81.7	1264	71.22
adr38	4	c344065	59.4	-81.7	1264	71.22
adr39	4	c344065	59.4	-81.7	1264	71.22
adr40	8	c240669	68.3	-72.8	572	148.01
adr41	8	c240669	68.3	-72.8	572	148.01
adr42	8	c240669	68.3	-72.8	572	148.01
adr43	13	c819025	61.6	-79.5	1052	328.29
adr44	13	c819025	61.6	-79.5	1052	328.29
adr45	13	c819025	61.6	-79.5	1052	328.29
adr46	3	c880794	63.2	-78.0	632	17.03
adr47	3	c880794	63.2	-78.0	632	17.03
adr48	3	c880794	63.2	-78.0	632	17.03
adr49	10	c435254	60.0	-81.1	998	83.15
adr50	10	c435254	60.0	-81.1	998	83.15
adr51	10	c435254	60.0	-81.1	998	83.15
adr52	10	c435254	68.5	-72.6	596	111.23
adr53	5	c351268	63.0	-78.1	929	142.39
adr54	14	c336405	60.8	-80.3	1019	47.07
adr55	11	c983275	64.9	-76.2	774	220.02
adr56	13	c819025	65.0	-76.1	975	8.97
adr57	8	c240669	65.7	-75.4	596	130.58
adr58	8	c240669	69.1	-72.0	491	235.37
adr59	8	c240669	69.1	-72.0	491	235.37
adr60	8	c240669	69.1	-72.0	491	235.37
adr61	2	c650776	58.7	-82.4	798	61.96
adr62	2	c650776	58.7	-82.4	798	61.96
adr63	2	c650776	58.7	-82.4	798	61.96
adr64	3	c880794	59.4	-81.8	914	351.89
adr65	3	c880794	59.4	-81.8	914	351.89
adr66	3	c880794	59.4	-81.8	914	351.89
adr67	8	c240669	65.8	-75.3	577	236.94
adr68	8	c240669	65.8	-75.3	577	236.94
adr69	8	c240669	65.8	-75.3	577	236.94
adr70	11	c983275	90.2	-50.9	165	188.38
adr71	11	c983275	90.2	-50.9	165	188.38
adr72	11	c983275	90.2	-50.9	165	188.38
adr73	2	c650776	61.0	-80.1	876	28.44
adr74	2	c650776	61.0	-80.1	876	28.44
adr75	2	c650776	61.0	-80.1	876	28.44
adr76	2	c650776	83.1	-58.0	260	336.69
adr77	2	c650776	83.1	-58.0	260	336.69
adr78	2	c650776	83.1	-58.0	260	336.69
adr79	8	c240669	69.4	-71.7	468	239.44

adr79	8	c240669	69.4	-71.7	468	239.44
adr80	8	c240669	69.4	-71.7	468	239.44
adr81	8	c240669	69.4	-71.7	468	239.44
adr82	2	c650776	63.8	-77.3	810	343.42
adr83	2	c650776	63.8	-77.3	810	343.42
adr84	2	c650776	63.8	-77.3	810	343.42
adr85	2	c650776	60.2	-80.9	836	43.93
adr86	2	c650776	60.2	-80.9	836	43.93
adr87	2	c650776	60.2	-80.9	836	43.93
adr88	11	c983275	65.9	-75.3	656	256.07
adr89	11	c983275	65.9	-75.3	656	256.07
adr90	11	c983275	65.9	-75.3	656	256.07
adr91	8	c240669	67.4	-73.7	412	268.19
adr92	8	c240669	67.4	-73.7	412	268.19
adr93	8	c240669	67.4	-73.7	412	268.19
adr94	10	c435254	56.1	-85.0	1054	130.11
adr95	10	c435254	56.1	-85.0	1054	130.11
adr96	10	c435254	56.1	-85.0	1054	130.11
adr97	3	c880794	80.1	-61.1	315	290.05
adr98	3	c880794	80.1	-61.1	315	290.05
adr99	3	c880794	80.1	-61.1	315	290.05
adr100	11	c983275	62.5	-78.6	842	205.77
adr101	11	c983275	62.5	-78.6	842	205.77
adr102	11	c983275	62.5	-78.6	842	205.77
adr103	3	c880794	74.4	-66.7	465	313.17
adr104	3	c880794	74.4	-66.7	465	313.17
adr105	3	c880794	74.4	-66.7	465	313.17
adr106	8	c240669	75.8	-65.3	418	198.57
adr107	8	c240669	75.8	-65.3	418	198.57
adr108	8	c240669	75.8	-65.3	418	198.57
adr109	2	c650776	78.9	-62.2	369	351.74
adr110	2	c650776	78.9	-62.2	369	351.74
adr111	2	c650776	78.9	-62.2	369	351.74
adr112	3	c880794	58.4	-82.8	931	358.28
adr113	3	c880794	58.4	-82.8	931	358.28
adr114	3	c880794	58.4	-82.8	931	358.28
adr115	8	c240669	61.9	-79.2	836	209.85
adr116	8	c240669	61.9	-79.2	836	209.85
adr117	8	c240669	61.9	-79.2	836	209.85
adr118	2	c650776	70.9	-70.2	564	348.97
adr119	2	c650776	70.9	-70.2	564	348.97
adr120	2	c650776	70.9	-70.2	564	348.97
adr121	14	c336405	60.0	-81.2	1231	73.63
adr122	14	c336405	60.0	-81.2	1231	73.63
adr123	14	c336405	60.0	-81.2	1231	73.63
adr124	2	c650776	71.1	-70.1	562	353.67
adr125	2	c650776	71.1	-70.1	562	353.67
adr126	2	c650776	71.1	-70.1	562	353.67
adr127	3	c880794	62.0	-79.1	718	10.03
adr128	3	c880794	62.0	-79.1	718	10.03
adr129	3	c880794	62.0	-79.1	718	10.03
adr130	11	c983275	91.4	-49.7	155	190.44
adr131	11	c983275	91.4	-49.7	155	190.44
adr132	11	c983275	91.4	-49.7	155	190.44
adr133	2	c650776	73.9	-67.2	479	348.55
adr134	2	c650776	73.9	-67.2	479	348.55
adr135	2	c650776	73.9	-67.2	479	348.55
adr136	8	c240669	66.9	-74.2	699	184.51
adr137	8	c240669	66.9	-74.2	699	184.51
adr138	8	c240669	66.9	-74.2	699	184.51
adr139	2	c650776	82.5	-58.6	285	344.30
adr140	2	c650776	82.5	-58.6	285	344.30
adr141	2	c650776	82.5	-58.6	285	344.30
adr142	2	c650776	61.0	-80.1	711	60.16
adr143	2	c650776	61.0	-80.1	711	60.16
adr144	2	c650776	61.0	-80.1	711	60.16
adr145	2	c650776	75.9	-65.2	435	354.33
adr146	2	c650776	75.9	-65.2	435	354.33
adr147	2	c650776	75.9	-65.2	435	354.33
adr148	8	c240669	74.0	-67.1	442	206.45
adr149	8	c240669	74.0	-67.1	442	206.45
adr150	8	c240669	74.0	-67.1	442	206.45
adr151	8	c240669	68.0	-73.1	602	209.12
adr152	8	c240669	68.0	-73.1	602	209.12
adr153	8	c240669	68.0	-73.1	602	209.12
adr154	3	c880794	60.4	-80.8	943	336.89
adr155	3	c880794	60.4	-80.8	943	336.89
adr156	3	c880794	60.4	-80.8	943	336.89
adr157	8	c240669	70.9	-70.2	566	179.90
adr158	2	c650776	67.4	-73.8	682	349.00
adr159	3	c880794	69.8	-71.4	529	283.22
adr160	10	c435254	60.9	-80.2	718	148.26
adr161	3	c880794	59.8	-81.4	1019	328.80
adr162	2	c650776	63.5	-77.6	643	56.16
adr163	8	c240669	70.4	-70.7	525	210.57

adr163	8	c240669	70.4	-70.7	525	210.57
adr164	2	c650776	63.5	-77.6	719	38.85
adr165	3	c880794	59.0	-82.2	951	348.11
adr166	2	c650776	61.1	-80.0	828	36.99
adr167	8	c240669	62.7	-78.4	745	223.80
adr168	16	c575182	88.9	-52.2	193	228.14
adr169	16	c575182	88.9	-52.2	193	228.14
adr170	16	c575182	88.9	-52.2	193	228.14
adr171	16	c575182	73.3	-67.9	608	284.77
adr172	16	c575182	73.3	-67.9	608	284.77
adr173	16	c575182	73.3	-67.9	608	284.77
adr174	5	c351268	90.4	-50.7	219	199.51
adr175	5	c351268	90.4	-50.7	219	199.51
adr176	5	c351268	90.4	-50.7	219	199.51
adr177	15	c614307	70.7	-70.5	637	146.26
adr178	15	c614307	70.7	-70.5	637	146.26
adr179	15	c614307	70.7	-70.5	637	146.26
adr180	4	c344065	82.6	-58.6	375	89.08
adr181	4	c344065	82.6	-58.6	375	89.08
adr182	4	c344065	82.6	-58.6	375	89.08
adr183	4	c344065	80.8	-60.3	390	70.08
adr184	4	c344065	80.8	-60.3	390	70.08
adr185	4	c344065	80.8	-60.3	390	70.08
adr186	6	c067812	73.7	-67.4	596	256.41
adr187	6	c067812	73.7	-67.4	596	256.41
adr188	6	c067812	73.7	-67.4	596	256.41
adr189	13	c819025	84.9	-56.2	333	358.80
adr190	13	c819025	84.9	-56.2	333	358.80
adr191	13	c819025	84.9	-56.2	333	358.80
adr192	14	c336405	72.4	-68.8	576	123.97
adr193	14	c336405	72.4	-68.8	576	123.97
adr194	14	c336405	72.4	-68.8	576	123.97
adr195	16	c575182	84.1	-57.0	275	228.09
adr196	16	c575182	84.1	-57.0	275	228.09
adr197	16	c575182	84.1	-57.0	275	228.09
adr198	6	c067812	69.2	-71.9	727	247.25
adr199	6	c067812	69.2	-71.9	727	247.25
adr200	6	c067812	69.2	-71.9	727	247.25
adr201	6	c067812	71.1	-70.0	696	262.24
adr202	6	c067812	71.1	-70.0	696	262.24
adr203	6	c067812	71.1	-70.0	696	262.24
adr204	6	c067812	72.5	-68.6	546	227.23
adr205	6	c067812	72.5	-68.6	546	227.23
adr206	6	c067812	72.5	-68.6	546	227.23
adr207	5	c351268	82.9	-58.2	368	185.93
adr208	5	c351268	82.9	-58.2	368	185.93
adr209	5	c351268	82.9	-58.2	368	185.93
adr210	4	c344065	77.7	-63.4	419	128.40
adr211	4	c344065	77.7	-63.4	419	128.40
adr212	4	c344065	77.7	-63.4	419	128.40
adr213	15	c614307	69.1	-72.0	704	150.27
adr214	15	c614307	69.1	-72.0	704	150.27
adr215	15	c614307	69.1	-72.0	704	150.27
adr216	1	c498458	73.1	-68.0	573	333.03
adr217	1	c498458	73.1	-68.0	573	333.03
adr218	1	c498458	73.1	-68.0	573	333.03
adr219	16	c575182	76.0	-65.1	505	247.40
adr220	16	c575182	76.0	-65.1	505	247.40
adr221	16	c575182	76.0	-65.1	505	247.40
adr222	5	c351268	91.8	-49.3	190	151.68
adr223	5	c351268	91.8	-49.3	190	151.68
adr224	5	c351268	91.8	-49.3	190	151.68
adr225	16	c575182	80.0	-61.2	367	311.46
adr226	16	c575182	80.0	-61.2	367	311.46
adr227	16	c575182	80.0	-61.2	367	311.46
adr228	6	c067812	93.2	-47.9	154	294.57
adr229	6	c067812	93.2	-47.9	154	294.57
adr230	6	c067812	93.2	-47.9	154	294.57
adr231	14	c336405	95.2	-45.9	171	88.66
adr232	14	c336405	95.2	-45.9	171	88.66
adr233	14	c336405	95.2	-45.9	171	88.66
adr234	5	c351268	79.4	-61.7	428	198.27
adr235	5	c351268	79.4	-61.7	428	198.27
adr236	5	c351268	79.4	-61.7	428	198.27
adr237	14	c336405	72.5	-68.6	578	121.49
adr238	14	c336405	72.5	-68.6	578	121.49
adr239	14	c336405	72.5	-68.6	578	121.49
adr240	1	c498458	85.9	-55.2	274	333.06
adr241	1	c498458	85.9	-55.2	274	333.06
adr242	1	c498458	85.9	-55.2	274	333.06
adr243	16	c575182	73.2	-67.9	597	289.68
adr244	16	c575182	73.2	-67.9	597	289.68
adr245	16	c575182	73.2	-67.9	597	289.68
adr246	14	c336405	96.2	-44.9	117	65.19
adr247	14	c336405	96.2	-44.9	117	65.19

adr247	14	c336405	96.2	-44.9	117	65.19
adr248	14	c336405	96.2	-44.9	117	65.19
adr249	16	c575182	79.5	-61.7	444	258.56
adr250	16	c575182	79.5	-61.7	444	258.56
adr251	16	c575182	79.5	-61.7	444	258.56
adr252	13	c819025	86.3	-54.8	293	16.27
adr253	13	c819025	86.3	-54.8	293	16.27
adr254	13	c819025	86.3	-54.8	293	16.27
adr255	1	c498458	80.9	-60.2	409	348.99
adr256	1	c498458	80.9	-60.2	409	348.99
adr257	1	c498458	80.9	-60.2	409	348.99
adr258	1	c498458	81.8	-59.3	382	14.11
adr259	1	c498458	81.8	-59.3	382	14.11
adr260	1	c498458	81.8	-59.3	382	14.11
adr261	5	c351268	69.3	-71.8	766	174.76
adr262	5	c351268	69.3	-71.8	766	174.76
adr263	5	c351268	69.3	-71.8	766	174.76
adr264	15	c614307	83.8	-57.3	312	211.66
adr265	15	c614307	83.8	-57.3	312	211.66
adr266	15	c614307	83.8	-57.3	312	211.66
adr267	6	c067812	90.0	-51.1	128	311.52
adr268	6	c067812	90.0	-51.1	128	311.52
adr269	6	c067812	90.0	-51.1	128	311.52
adr270	15	c614307	70.8	-70.4	608	139.07
adr271	15	c614307	70.8	-70.4	608	139.07
adr272	15	c614307	70.8	-70.4	608	139.07
adr273	14	c336405	75.5	-65.6	496	62.66
adr274	14	c336405	75.5	-65.6	496	62.66
adr275	14	c336405	75.5	-65.6	496	62.66
adr276	14	c336405	80.4	-60.7	404	72.55
adr277	14	c336405	80.4	-60.7	404	72.55
adr278	14	c336405	80.4	-60.7	404	72.55
adr279	16	c575182	73.7	-67.5	612	267.00
adr280	16	c575182	73.7	-67.5	612	267.00
adr281	16	c575182	73.7	-67.5	612	267.00
adr282	6	c067812	70.2	-71.0	739	268.45
adr283	6	c067812	70.2	-71.0	739	268.45
adr284	6	c067812	70.2	-71.0	739	268.45
adr285	15	c614307	71.4	-69.8	650	161.34
adr286	15	c614307	71.4	-69.8	650	161.34
adr287	15	c614307	71.4	-69.8	650	161.34
adr288	16	c575182	74.5	-66.6	555	290.36
adr289	16	c575182	74.5	-66.6	555	290.36
adr290	16	c575182	74.5	-66.6	555	290.36
adr291	1	c498458	79.0	-62.1	450	11.41
adr292	1	c498458	79.0	-62.1	450	11.41
adr293	1	c498458	79.0	-62.1	450	11.41
adr294	5	c351268	86.6	-54.5	296	186.79
adr295	5	c351268	86.6	-54.5	296	186.79
adr296	5	c351268	86.6	-54.5	296	186.79
adr297	6	c067812	67.5	-73.7	757	303.04
adr298	6	c067812	67.5	-73.7	757	303.04
adr299	6	c067812	67.5	-73.7	757	303.04
adr300	14	c336405	67.1	-74.0	763	56.98
adr301	14	c336405	67.1	-74.0	763	56.98
adr302	14	c336405	67.1	-74.0	763	56.98
adr303	4	c344065	75.9	-65.2	446	45.91
adr304	4	c344065	75.9	-65.2	446	45.91
adr305	4	c344065	75.9	-65.2	446	45.91
adr306	14	c336405	79.1	-62.0	397	126.29
adr307	14	c336405	79.1	-62.0	397	126.29
adr308	14	c336405	79.1	-62.0	397	126.29
adr309	14	c336405	75.2	-65.9	553	90.52
adr310	14	c336405	75.2	-65.9	553	90.52
adr311	14	c336405	75.2	-65.9	553	90.52
adr312	14	c336405	76.2	-65.0	449	133.19
adr313	14	c336405	76.2	-65.0	449	133.19
adr314	14	c336405	76.2	-65.0	449	133.19
adr315	14	c336405	78.7	-62.5	417	119.27
adr316	14	c336405	78.7	-62.5	417	119.27
adr317	14	c336405	78.7	-62.5	417	119.27
adr318	16	c575182	69.3	-71.9	637	225.19
adr319	16	c575182	69.3	-71.9	637	225.19
adr320	16	c575182	69.3	-71.9	637	225.19
adr321	1	c498458	110.8	-30.3	28	340.91
adr322	1	c498458	110.8	-30.3	28	340.91
adr323	1	c498458	110.8	-30.3	28	340.91
adr324	15	c614307	74.0	-67.1	544	150.23
adr325	15	c614307	74.0	-67.1	544	150.23
adr326	15	c614307	74.0	-67.1	544	150.23
adr327	16	c575182	65.4	-75.7	889	246.03
adr328	16	c575182	65.4	-75.7	889	246.03
adr329	16	c575182	65.4	-75.7	889	246.03
adr330	16	c575182	89.4	-51.8	234	255.37
adr331	16	c575182	89.4	-51.8	234	255.37

adr331	16	c575182	89.4	-51.8	234	255.37
adr332	16	c575182	89.4	-51.8	234	255.37
adr333	14	c336405	72.4	-68.7	588	62.56
adr334	14	c336405	72.4	-68.7	588	62.56
adr335	14	c336405	72.4	-68.7	588	62.56
adr336	5	c351268	75.9	-65.3	538	181.17
adr337	5	c351268	75.9	-65.3	538	181.17
adr338	5	c351268	75.9	-65.3	538	181.17
adr339	14	c336405	74.7	-66.4	549	105.96
adr340	14	c336405	74.7	-66.4	549	105.96
adr341	14	c336405	74.7	-66.4	549	105.96
adr342	6	c067812	78.1	-63.1	102	311.82
adr343	6	c067812	78.1	-63.1	102	311.82
adr344	6	c067812	78.1	-63.1	102	311.82
adr345	16	c575182	62.3	-78.9	1016	239.14
adr346	16	c575182	62.3	-78.9	1016	239.14
adr347	16	c575182	62.3	-78.9	1016	239.14
adr348	15	c614307	80.1	-61.0	369	142.26
adr349	15	c614307	80.1	-61.0	369	142.26
adr350	15	c614307	80.1	-61.0	369	142.26
adr351	16	c575182	72.4	-68.8	644	282.55
adr352	16	c575182	72.4	-68.8	644	282.55
adr353	16	c575182	72.4	-68.8	644	282.55
adr354	5	c351268	77.4	-63.7	418	223.74
adr355	5	c351268	77.4	-63.7	418	223.74
adr356	5	c351268	77.4	-63.7	418	223.74
adr357	5	c351268	77.3	-63.8	483	165.73
adr358	5	c351268	77.3	-63.8	483	165.73
adr359	5	c351268	77.3	-63.8	483	165.73
adr360	5	c351268	76.7	-64.4	461	150.49
adr361	5	c351268	76.7	-64.4	461	150.49
adr362	5	c351268	76.7	-64.4	461	150.49
adr363	14	c336405	73.1	-68.1	571	118.45
adr364	14	c336405	73.1	-68.1	571	118.45
adr365	14	c336405	73.1	-68.1	571	118.45
adr366	16	c575182	78.2	-62.9	433	299.17
adr367	16	c575182	78.2	-62.9	433	299.17
adr368	16	c575182	78.2	-62.9	433	299.17
adr369	14	c336405	68.7	-72.4	675	49.99
adr370	14	c336405	68.7	-72.4	675	49.99
adr371	14	c336405	68.7	-72.4	675	49.99
adr372	1	c498458	68.5	-72.6	715	325.38
adr373	1	c498458	68.5	-72.6	715	325.38
adr374	1	c498458	68.5	-72.6	715	325.38
adr375	15	c614307	78.2	-62.9	418	143.08
adr376	15	c614307	78.2	-62.9	418	143.08
adr377	15	c614307	78.2	-62.9	418	143.08
adr378	16	c575182	78.4	-62.7	440	245.01
adr379	16	c575182	78.4	-62.7	440	245.01
adr380	16	c575182	78.4	-62.7	440	245.01
adr381	4	c344065	88.9	-52.2	255	93.83
adr382	4	c344065	88.9	-52.2	255	93.83
adr383	4	c344065	88.9	-52.2	255	93.83
adr384	5	c351268	74.6	-66.6	565	167.64
adr385	5	c351268	74.6	-66.6	565	167.64
adr386	5	c351268	74.6	-66.6	565	167.64
adr387	13	c819025	79.8	-61.3	393	328.01
adr388	13	c819025	79.8	-61.3	393	328.01
adr389	13	c819025	79.8	-61.3	393	328.01
adr390	1	c498458	67.0	-74.1	764	322.98
adr391	1	c498458	67.0	-74.1	764	322.98
adr392	1	c498458	67.0	-74.1	764	322.98
adr393	4	c344065	89.5	-51.7	246	93.49
adr394	4	c344065	89.5	-51.7	246	93.49
adr395	4	c344065	89.5	-51.7	246	93.49
adr396	6	c067812	83.9	-57.2	306	300.16
adr397	6	c067812	83.9	-57.2	306	300.16
adr398	6	c067812	83.9	-57.2	306	300.16
adr399	14	c336405	89.7	-51.4	226	112.60
adr400	14	c336405	89.7	-51.4	226	112.60
adr401	14	c336405	89.7	-51.4	226	112.60
adr402	5	c351268	74.2	-67.0	588	176.39
adr403	5	c351268	74.2	-67.0	588	176.39
adr404	5	c351268	74.2	-67.0	588	176.39
adr405	5	c351268	72.8	-68.3	632	172.36
adr406	5	c351268	72.8	-68.3	632	172.36
adr407	5	c351268	72.8	-68.3	632	172.36
adr408	15	c614307	79.7	-61.4	409	202.11
adr409	15	c614307	79.7	-61.4	409	202.11
adr410	15	c614307	79.7	-61.4	409	202.11
adr411	5	c351268	70.3	-70.8	727	182.84
adr412	5	c351268	70.3	-70.8	727	182.84
adr413	5	c351268	70.3	-70.8	727	182.84
adr414	16	c575182	69.2	-72.0	775	261.10
adr415	16	c575182	69.2	-72.0	775	261.10

adr415	16	c575182	69.2	-72.0	775	261.10
adr416	16	c575182	69.2	-72.0	775	261.10
adr417	4	c344065	84.7	-56.4	289	123.41
adr418	4	c344065	84.7	-56.4	289	123.41
adr419	4	c344065	84.7	-56.4	289	123.41
adr420	6	c067812	65.8	-75.3	931	259.73
adr421	6	c067812	65.8	-75.3	931	259.73
adr422	6	c067812	65.8	-75.3	931	259.73
adr423	14	c336405	71.6	-69.5	599	57.69
adr424	14	c336405	71.6	-69.5	599	57.69
adr425	14	c336405	71.6	-69.5	599	57.69
adr426	5	c351268	95.0	-46.1	160	160.32
adr427	5	c351268	95.0	-46.1	160	160.32
adr428	5	c351268	95.0	-46.1	160	160.32
adr429	14	c336405	91.8	-49.3	208	100.50
adr430	14	c336405	91.8	-49.3	208	100.50
adr431	14	c336405	91.8	-49.3	208	100.50
adr432	5	c351268	72.3	-68.8	649	188.16
adr433	5	c351268	72.3	-68.8	649	188.16
adr434	5	c351268	72.3	-68.8	649	188.16
adr435	6	c067812	71.4	-69.7	689	276.67
adr436	6	c067812	71.4	-69.7	689	276.67
adr437	6	c067812	71.4	-69.7	689	276.67
adr438	6	c067812	78.1	-63.0	417	307.50
adr439	6	c067812	78.1	-63.0	417	307.50
adr440	6	c067812	78.1	-63.0	417	307.50
adr441	13	c819025	95.6	-45.5	165	5.57
adr442	13	c819025	95.6	-45.5	165	5.57
adr443	13	c819025	95.6	-45.5	165	5.57
adr444	4	c344065	91.5	-49.7	175	48.94
adr445	4	c344065	91.5	-49.7	175	48.94
adr446	4	c344065	91.5	-49.7	175	48.94
adr447	15	c614307	79.8	-61.3	417	159.35
adr448	15	c614307	79.8	-61.3	417	159.35
adr449	15	c614307	79.8	-61.3	417	159.35
adr450	6	c067812	95.8	-45.3	139	263.80
adr451	6	c067812	95.8	-45.3	139	263.80
adr452	6	c067812	95.8	-45.3	139	263.80
adr453	5	c351268	89.9	-51.2	193	135.63
adr454	5	c351268	89.9	-51.2	193	135.63
adr455	5	c351268	89.9	-51.2	193	135.63
adr456	16	c575182	63.5	-77.7	986	245.49
adr457	16	c575182	63.5	-77.7	986	245.49
adr458	16	c575182	63.5	-77.7	986	245.49
adr459	14	c336405	96.3	-44.8	140	90.82
adr460	14	c336405	96.3	-44.8	140	90.82
adr461	14	c336405	96.3	-44.8	140	90.82
adr462	1	c498458	66.2	-74.9	809	325.07
adr463	1	c498458	66.2	-74.9	809	325.07
adr464	1	c498458	66.2	-74.9	809	325.07
adr465	16	c575182	72.4	-68.8	654	263.85
adr466	16	c575182	72.4	-68.8	654	263.85
adr467	16	c575182	72.4	-68.8	654	263.85
adr468	16	c575182	74.4	-66.7	488	226.66
adr469	16	c575182	74.4	-66.7	488	226.66
adr470	16	c575182	74.4	-66.7	488	226.66
adr471	13	c819025	83.1	-58.0	310	39.38
adr472	13	c819025	83.1	-58.0	310	39.38
adr473	13	c819025	83.1	-58.0	310	39.38
adr474	5	c351268	76.7	-64.4	431	224.91
adr475	5	c351268	76.7	-64.4	431	224.91
adr476	5	c351268	76.7	-64.4	431	224.91
adr477	13	c819025	95.2	-45.9	154	342.62
adr478	13	c819025	95.2	-45.9	154	342.62
adr479	13	c819025	95.2	-45.9	154	342.62
adr480	16	c575182	66.5	-74.7	793	235.23
adr481	16	c575182	66.5	-74.7	793	235.23
adr482	16	c575182	66.5	-74.7	793	235.23
adr483	6	c067812	70.4	-70.7	692	250.94
adr484	6	c067812	70.4	-70.7	692	250.94
adr485	6	c067812	70.4	-70.7	692	250.94
adr486	13	c819025	83.4	-57.7	338	22.08
adr487	13	c819025	83.4	-57.7	338	22.08
adr488	13	c819025	83.4	-57.7	338	22.08
adr489	1	c498458	87.2	-53.9	267	339.87
adr490	1	c498458	87.2	-53.9	267	339.87
adr491	1	c498458	87.2	-53.9	267	339.87
adr492	1	c498458	75.3	-65.8	500	329.08
adr493	1	c498458	75.3	-65.8	500	329.08
adr494	1	c498458	75.3	-65.8	500	329.08
adr495	16	c575182	65.7	-75.5	809	231.17
adr496	16	c575182	65.7	-75.5	809	231.17
adr497	16	c575182	65.7	-75.5	809	231.17
adr498	16	c575182	66.4	-74.7	825	242.50
adr499	16	c575182	66.4	-74.7	825	242.50

adr499	16	c575182	66.4	-74.7	825	242.50
adr500	16	c575182	66.4	-74.7	825	242.50
adr501	1	c498458	77.2	-63.9	481	341.34
adr502	1	c498458	77.2	-63.9	481	341.34
adr503	1	c498458	77.2	-63.9	481	341.34
adr504	14	c336405	69.5	-71.6	690	62.91
adr505	14	c336405	69.5	-71.6	690	62.91
adr506	14	c336405	69.5	-71.6	690	62.91
adr507	6	c067812	81.6	-59.5	392	258.23
adr508	6	c067812	81.6	-59.5	392	258.23
adr509	6	c067812	81.6	-59.5	392	258.23
adr510	5	c351268	76.3	-64.8	476	151.76
adr511	5	c351268	76.3	-64.8	476	151.76
adr512	5	c351268	76.3	-64.8	476	151.76
adr513	15	c614307	72.4	-68.8	575	143.85
adr514	15	c614307	72.4	-68.8	575	143.85
adr515	15	c614307	72.4	-68.8	575	143.85
adr516	15	c614307	91.7	-49.4	140	220.38
adr517	15	c614307	91.7	-49.4	140	220.38
adr518	15	c614307	91.7	-49.4	140	220.38
adr519	14	c336405	74.1	-67.0	516	128.07
adr520	14	c336405	74.1	-67.0	516	128.07
adr521	14	c336405	74.1	-67.0	516	128.07
adr522	5	c351268	72.6	-68.6	640	173.63
adr523	5	c351268	72.6	-68.6	640	173.63
adr524	5	c351268	72.6	-68.6	640	173.63
adr525	16	c575182	72.9	-68.3	549	233.15
adr526	16	c575182	72.9	-68.3	549	233.15
adr527	16	c575182	72.9	-68.3	549	233.15
adr528	4	c344065	72.2	-69.0	575	55.84
adr529	4	c344065	72.2	-69.0	575	55.84
adr530	4	c344065	72.2	-69.0	575	55.84
adr531	15	c614307	83.6	-57.5	315	153.03
adr532	15	c614307	83.6	-57.5	315	153.03
adr533	15	c614307	83.6	-57.5	315	153.03
adr534	5	c351268	100.9	-40.2	68	201.64
adr535	5	c351268	100.9	-40.2	68	201.64
adr536	5	c351268	100.9	-40.2	68	201.64
adr537	14	c336405	80.5	-60.6	386	65.03
adr538	14	c336405	80.5	-60.6	386	65.03
adr539	14	c336405	80.5	-60.6	386	65.03
adr540	16	c575182	64.4	-76.8	924	242.69
adr541	16	c575182	64.4	-76.8	924	242.69
adr542	16	c575182	64.4	-76.8	924	242.69
adr543	5	c351268	83.4	-57.7	350	166.80
adr544	5	c351268	83.4	-57.7	350	166.80
adr545	5	c351268	83.4	-57.7	350	166.80
adr546	14	c336405	75.5	-65.6	542	82.69
adr547	15	c614307	74.5	-66.6	493	219.57
adr548	15	c614307	82.5	-58.6	373	170.44
adr549	16	c575182	68.8	-72.4	798	267.92
adr550	6	c067812	67.8	-73.3	839	266.93
adr551	14	c336405	84.4	-56.7	339	87.13
adr552	4	c344065	90.9	-50.2	201	116.57
adr553	1	c498458	64.9	-76.2	832	317.87
adr554	15	c614307	76.1	-65.0	478	147.21
adr555	16	c575182	69.3	-71.8	747	253.82
adr556	15	c614307	83.3	-57.8	293	221.26
adr557	6	c067812	75.3	-65.9	549	282.95
adr558	16	c575182	73.6	-67.5	601	257.42
adr559	15	c614307	78.5	-62.7	458	168.91
adr560	13	c819025	80.4	-60.7	393	334.54
adr561	6	c067812	78.6	-62.5	418	238.40
adr562	16	c575182	96.7	-44.5	114	254.74
adr563	14	c336405	84.6	-56.6	308	62.94
adr564	1	c498458	85.3	-55.8	260	321.41
adr565	5	c351268	88.7	-52.4	250	196.04
adr566	6	c067812	79.0	-62.1	455	259.48
adr567	16	c575182	73.7	-67.4	591	285.49
adr568	16	c575182	74.3	-66.8	557	247.85
adr569	14	c336405	77.4	-63.7	434	55.43
adr570	13	c819025	81.8	-59.3	369	337.05
adr571	16	c575182	85.9	-55.3	264	305.44
adr572	6	c067812	68.0	-73.1	828	277.29
adr573	15	c614307	74.9	-66.2	549	193.91
adr574	1	c498458	70.0	-71.1	637	319.71
adr575	5	c351268	80.8	-60.4	409	176.21
adr576	1	c498458	75.7	-65.4	523	16.77
adr577	1	c498458	81.4	-59.7	323	316.38
adr578	6	c067812	81.9	-59.2	392	275.57
adr579	4	c344065	106.2	-34.9	60	49.09
adr580	6	c067812	71.5	-69.6	682	262.76
adr581	15	c614307	80.6	-60.6	413	189.76
adr582	13	c819025	95.7	-45.4	160	1.43
adr583	5	c351268	79.8	-61.3	404	205.04

adr583	5	c351268	79.8	-61.3	404	205.04
adr584	6	c067812	82.7	-58.5	311	229.56
adr585	6	c067812	72.0	-69.1	665	277.78
adr586	1	c498458	73.1	-68.0	543	321.80
adr587	16	c575182	82.1	-59.0	349	298.77
adr588	10	c435254	56.1	-85.0	912	127.11
adr589	10	c435254	56.1	-85.0	912	127.11
adr590	10	c435254	56.1	-85.0	912	127.11
adr591	1	c498458	75.7	-65.4	507	3.96
adr592	1	c498458	75.7	-65.4	507	3.96
adr593	1	c498458	75.7	-65.4	507	3.96
adr594	8	c240669	63.0	-78.1	730	198.68
adr595	8	c240669	63.0	-78.1	730	198.68
adr596	8	c240669	63.0	-78.1	730	198.68
adr597	16	c575182	80.3	-60.8	405	281.53
adr598	16	c575182	80.3	-60.8	405	281.53
adr599	16	c575182	80.3	-60.8	405	281.53

PARENTING – Modelo ITU-R 525 para 802.16e

Subscriber	BST #	Call-sign	FSR (dBuV/m)	PR (dBm)	Distance (m)	Azimuth (°)
adr1	8	c240669	105.9	-35.2	107	147.20
adr2	8	c240669	105.9	-35.2	107	147.20
adr3	8	c240669	105.9	-35.2	107	147.20
adr4	6	c067812	93.8	-47.3	1344	234.15
adr5	6	c067812	93.8	-47.3	1344	234.15
adr6	6	c067812	93.8	-47.3	1344	234.15
adr7	2	c650776	71.7	-69.4	571	1.91
adr8	2	c650776	71.7	-69.4	571	1.91
adr9	2	c650776	71.7	-69.4	571	1.91
adr10	13	c819025	83.4	-57.7	1724	317.35
adr11	13	c819025	83.4	-57.7	1724	317.35
adr12	13	c819025	83.4	-57.7	1724	317.35
adr13	9	c570421	95.0	-46.1	1112	278.79
adr14	9	c570421	95.0	-46.1	1112	278.79
adr15	9	c570421	95.0	-46.1	1112	278.79
adr16	6	c067812	80.7	-60.4	1218	248.47
adr17	6	c067812	80.7	-60.4	1218	248.47
adr18	6	c067812	80.7	-60.4	1218	248.47
adr19	6	c067812	72.5	-68.7	1055	255.67
adr20	6	c067812	72.5	-68.7	1055	255.67
adr21	6	c067812	72.5	-68.7	1055	255.67
adr22	6	c067812	95.1	-46.0	1339	301.87
adr23	6	c067812	95.1	-46.0	1339	301.87
adr24	6	c067812	95.1	-46.0	1339	301.87
adr25	16	c575182	90.6	-50.5	621	302.23
adr26	16	c575182	90.6	-50.5	621	302.23
adr27	16	c575182	90.6	-50.5	621	302.23
adr28	8	c240669	81.0	-60.1	1063	148.73
adr29	8	c240669	81.0	-60.1	1063	148.73
adr30	8	c240669	81.0	-60.1	1063	148.73
adr31	3	c880794	64.4	-76.7	899	9.80
adr32	3	c880794	64.4	-76.7	899	9.80
adr33	3	c880794	64.4	-76.7	899	9.80
adr34	3	c880794	63.9	-77.2	1323	320.80
adr35	3	c880794	63.9	-77.2	1323	320.80
adr36	3	c880794	63.9	-77.2	1323	320.80
adr37	14	c336405	85.4	-55.7	1308	125.70
adr38	14	c336405	85.4	-55.7	1308	125.70
adr39	14	c336405	85.4	-55.7	1308	125.70
adr40	8	c240669	96.3	-44.8	839	161.37
adr41	8	c240669	96.3	-44.8	839	161.37
adr42	8	c240669	96.3	-44.8	839	161.37
adr43	1	c498458	77.5	-63.6	2107	348.56
adr44	1	c498458	77.5	-63.6	2107	348.56
adr45	1	c498458	77.5	-63.6	2107	348.56
adr46	3	c880794	73.6	-67.6	850	2.36
adr47	3	c880794	73.6	-67.6	850	2.36
adr48	3	c880794	73.6	-67.6	850	2.36
adr49	2	c650776	89.1	-52.0	1668	29.69
adr50	2	c650776	89.1	-52.0	1668	29.69
adr51	2	c650776	89.1	-52.0	1668	29.69
adr52	3	c880794	89.2	-51.9	407	85.91
adr53	9	c570421	68.9	-72.2	2012	241.79
adr54	14	c336405	76.7	-64.5	1019	47.07
adr55	2	c650776	81.0	-60.1	991	318.03
adr56	13	c819025	79.0	-62.1	975	8.97
adr57	8	c240669	62.0	-79.1	814	149.08
adr58	8	c240669	78.7	-62.4	735	216.70
adr59	8	c240669	78.7	-62.4	735	216.70
adr60	8	c240669	78.7	-62.4	735	216.70
adr61	2	c650776	67.5	-73.6	672	84.45
adr62	2	c650776	67.5	-73.6	672	84.45
adr63	2	c650776	67.5	-73.6	672	84.45
adr64	3	c880794	61.4	-79.8	1183	346.36
adr65	3	c880794	61.4	-79.8	1183	346.36
adr66	3	c880794	61.4	-79.8	1183	346.36
adr67	8	c240669	95.0	-46.2	812	219.71
adr68	8	c240669	95.0	-46.2	812	219.71
adr69	8	c240669	95.0	-46.2	812	219.71
adr70	12	c297952	105.8	-35.4	192	295.23
adr71	12	c297952	105.8	-35.4	192	295.23
adr72	12	c297952	105.8	-35.4	192	295.23
adr73	12	c297952	66.4	-74.8	740	147.58
adr74	12	c297952	66.4	-74.8	740	147.58
adr75	12	c297952	66.4	-74.8	740	147.58
adr76	9	c570421	107.6	-33.5	155	242.77
adr77	9	c570421	107.6	-33.5	155	242.77
adr78	9	c570421	107.6	-33.5	155	242.77
adr79	8	c240669	96.4	-44.7	702	218.63

adr79	8	c240669	96.4	-44.7	702	218.63
adr80	8	c240669	96.4	-44.7	702	218.63
adr81	8	c240669	96.4	-44.7	702	218.63
adr82	2	c650776	71.9	-69.3	537	330.28
adr83	2	c650776	71.9	-69.3	537	330.28
adr84	2	c650776	71.9	-69.3	537	330.28
adr85	2	c650776	72.0	-69.1	618	61.82
adr86	2	c650776	72.0	-69.1	618	61.82
adr87	2	c650776	72.0	-69.1	618	61.82
adr88	14	c336405	65.0	-76.1	1420	81.21
adr89	14	c336405	65.0	-76.1	1420	81.21
adr90	14	c336405	65.0	-76.1	1420	81.21
adr91	4	c344065	93.3	-47.8	1896	93.27
adr92	4	c344065	93.3	-47.8	1896	93.27
adr93	4	c344065	93.3	-47.8	1896	93.27
adr94	12	c297952	67.3	-73.8	787	123.49
adr95	12	c297952	67.3	-73.8	787	123.49
adr96	12	c297952	67.3	-73.8	787	123.49
adr97	3	c880794	78.4	-62.7	569	308.36
adr98	3	c880794	78.4	-62.7	569	308.36
adr99	3	c880794	78.4	-62.7	569	308.36
adr100	12	c297952	66.3	-74.9	728	225.17
adr101	12	c297952	66.3	-74.9	728	225.17
adr102	12	c297952	66.3	-74.9	728	225.17
adr103	3	c880794	61.5	-79.6	746	319.02
adr104	3	c880794	61.5	-79.6	746	319.02
adr105	3	c880794	61.5	-79.6	746	319.02
adr106	8	c240669	73.0	-68.1	726	193.39
adr107	8	c240669	73.0	-68.1	726	193.39
adr108	8	c240669	73.0	-68.1	726	193.39
adr109	9	c570421	97.8	-43.3	104	302.01
adr110	9	c570421	97.8	-43.3	104	302.01
adr111	9	c570421	97.8	-43.3	104	302.01
adr112	3	c880794	56.7	-84.4	1189	351.39
adr113	3	c880794	56.7	-84.4	1189	351.39
adr114	3	c880794	56.7	-84.4	1189	351.39
adr115	8	c240669	66.3	-74.9	1129	203.55
adr116	8	c240669	66.3	-74.9	1129	203.55
adr117	8	c240669	66.3	-74.9	1129	203.55
adr118	2	c650776	105.0	-36.2	283	329.63
adr119	2	c650776	105.0	-36.2	283	329.63
adr120	2	c650776	105.0	-36.2	283	329.63
adr121	12	c297952	70.0	-71.1	1032	282.14
adr122	12	c297952	70.0	-71.1	1032	282.14
adr123	12	c297952	70.0	-71.1	1032	282.14
adr124	2	c650776	106.4	-34.7	267	338.72
adr125	2	c650776	106.4	-34.7	267	338.72
adr126	2	c650776	106.4	-34.7	267	338.72
adr127	3	c880794	73.5	-67.6	952	358.50
adr128	3	c880794	73.5	-67.6	952	358.50
adr129	3	c880794	73.5	-67.6	952	358.50
adr130	12	c297952	105.1	-36.0	201	297.59
adr131	12	c297952	105.1	-36.0	201	297.59
adr132	12	c297952	105.1	-36.0	201	297.59
adr133	2	c650776	106.1	-35.0	205	320.73
adr134	2	c650776	106.1	-35.0	205	320.73
adr135	2	c650776	106.1	-35.0	205	320.73
adr136	8	c240669	65.0	-76.1	1011	185.11
adr137	8	c240669	65.0	-76.1	1011	185.11
adr138	8	c240669	65.0	-76.1	1011	185.11
adr139	9	c570421	106.4	-34.7	118	252.18
adr140	9	c570421	106.4	-34.7	118	252.18
adr141	9	c570421	106.4	-34.7	118	252.18
adr142	2	c650776	64.2	-76.9	584	85.68
adr143	2	c650776	64.2	-76.9	584	85.68
adr144	2	c650776	64.2	-76.9	584	85.68
adr145	2	c650776	106.6	-34.6	146	327.62
adr146	2	c650776	106.6	-34.6	146	327.62
adr147	2	c650776	106.6	-34.6	146	327.62
adr148	8	c240669	76.4	-64.7	743	198.19
adr149	8	c240669	76.4	-64.7	743	198.19
adr150	8	c240669	76.4	-64.7	743	198.19
adr151	4	c344065	74.2	-67.0	2106	107.15
adr152	4	c344065	74.2	-67.0	2106	107.15
adr153	4	c344065	74.2	-67.0	2106	107.15
adr154	3	c880794	92.4	-48.7	1228	334.94
adr155	3	c880794	92.4	-48.7	1228	334.94
adr156	3	c880794	92.4	-48.7	1228	334.94
adr157	8	c240669	77.5	-63.6	877	182.22
adr158	2	c650776	91.7	-49.4	395	335.32
adr159	14	c336405	71.2	-69.9	1604	71.98
adr160	2	c650776	63.8	-77.3	750	16.50
adr161	3	c880794	75.9	-65.2	1307	328.74
adr162	2	c650776	93.2	-47.9	501	84.51
adr163	8	c240669	80.4	-60.7	820	201.62

adr163	8	c240669	80.4	-60.7	820	201.62
adr164	2	c650776	85.9	-55.2	485	59.00
adr165	14	c336405	75.6	-65.5	2260	54.69
adr166	2	c650776	96.2	-44.9	581	52.83
adr167	8	c240669	68.5	-72.6	1011	213.01
adr168	16	c575182	77.1	-64.1	193	228.14
adr169	16	c575182	77.1	-64.1	193	228.14
adr170	16	c575182	77.1	-64.1	193	228.14
adr171	16	c575182	75.1	-66.1	608	284.77
adr172	16	c575182	75.1	-66.1	608	284.77
adr173	16	c575182	75.1	-66.1	608	284.77
adr174	5	c351268	74.6	-66.5	219	199.51
adr175	5	c351268	74.6	-66.5	219	199.51
adr176	5	c351268	74.6	-66.5	219	199.51
adr177	15	c614307	83.1	-58.1	637	146.26
adr178	15	c614307	83.1	-58.1	637	146.26
adr179	15	c614307	83.1	-58.1	637	146.26
adr180	4	c344065	72.4	-68.8	375	89.08
adr181	4	c344065	72.4	-68.8	375	89.08
adr182	4	c344065	72.4	-68.8	375	89.08
adr183	4	c344065	70.7	-70.5	390	70.08
adr184	4	c344065	70.7	-70.5	390	70.08
adr185	4	c344065	70.7	-70.5	390	70.08
adr186	6	c067812	84.8	-56.3	596	256.41
adr187	6	c067812	84.8	-56.3	596	256.41
adr188	6	c067812	84.8	-56.3	596	256.41
adr189	13	c819025	74.4	-66.7	333	358.80
adr190	13	c819025	74.4	-66.7	333	358.80
adr191	13	c819025	74.4	-66.7	333	358.80
adr192	14	c336405	78.0	-63.1	576	123.97
adr193	14	c336405	78.0	-63.1	576	123.97
adr194	14	c336405	78.0	-63.1	576	123.97
adr195	1	c498458	72.6	-68.5	988	355.94
adr196	1	c498458	72.6	-68.5	988	355.94
adr197	1	c498458	72.6	-68.5	988	355.94
adr198	6	c067812	75.3	-65.9	727	247.25
adr199	6	c067812	75.3	-65.9	727	247.25
adr200	6	c067812	75.3	-65.9	727	247.25
adr201	6	c067812	90.4	-50.7	696	262.24
adr202	6	c067812	90.4	-50.7	696	262.24
adr203	6	c067812	90.4	-50.7	696	262.24
adr204	6	c067812	73.6	-67.6	546	227.23
adr205	6	c067812	73.6	-67.6	546	227.23
adr206	6	c067812	73.6	-67.6	546	227.23
adr207	5	c351268	84.3	-56.9	368	185.93
adr208	5	c351268	84.3	-56.9	368	185.93
adr209	5	c351268	84.3	-56.9	368	185.93
adr210	4	c344065	94.7	-46.5	419	128.40
adr211	4	c344065	94.7	-46.5	419	128.40
adr212	4	c344065	94.7	-46.5	419	128.40
adr213	15	c614307	67.0	-74.1	704	150.27
adr214	15	c614307	67.0	-74.1	704	150.27
adr215	15	c614307	67.0	-74.1	704	150.27
adr216	15	c614307	80.7	-60.4	768	210.94
adr217	15	c614307	80.7	-60.4	768	210.94
adr218	15	c614307	80.7	-60.4	768	210.94
adr219	16	c575182	66.5	-74.6	505	247.40
adr220	16	c575182	66.5	-74.6	505	247.40
adr221	16	c575182	66.5	-74.6	505	247.40
adr222	5	c351268	77.1	-64.1	190	151.68
adr223	5	c351268	77.1	-64.1	190	151.68
adr224	5	c351268	77.1	-64.1	190	151.68
adr225	16	c575182	106.3	-34.9	367	311.46
adr226	16	c575182	106.3	-34.9	367	311.46
adr227	16	c575182	106.3	-34.9	367	311.46
adr228	6	c067812	92.0	-49.1	154	294.57
adr229	6	c067812	92.0	-49.1	154	294.57
adr230	6	c067812	92.0	-49.1	154	294.57
adr231	14	c336405	80.4	-60.7	171	88.66
adr232	14	c336405	80.4	-60.7	171	88.66
adr233	14	c336405	80.4	-60.7	171	88.66
adr234	5	c351268	71.6	-69.5	428	198.27
adr235	5	c351268	71.6	-69.5	428	198.27
adr236	5	c351268	71.6	-69.5	428	198.27
adr237	14	c336405	84.1	-57.0	578	121.49
adr238	14	c336405	84.1	-57.0	578	121.49
adr239	14	c336405	84.1	-57.0	578	121.49
adr240	1	c498458	88.5	-52.6	274	333.06
adr241	1	c498458	88.5	-52.6	274	333.06
adr242	1	c498458	88.5	-52.6	274	333.06
adr243	16	c575182	78.6	-62.6	597	289.68
adr244	16	c575182	78.6	-62.6	597	289.68
adr245	16	c575182	78.6	-62.6	597	289.68
adr246	14	c336405	75.0	-66.2	117	65.19
adr247	14	c336405	75.0	-66.2	117	65.19

adr247	14	c336405	75.0	-66.2	117	65.19
adr248	14	c336405	75.0	-66.2	117	65.19
adr249	16	c575182	65.9	-75.3	444	258.56
adr250	16	c575182	65.9	-75.3	444	258.56
adr251	16	c575182	65.9	-75.3	444	258.56
adr252	13	c819025	79.7	-61.4	293	16.27
adr253	13	c819025	79.7	-61.4	293	16.27
adr254	13	c819025	79.7	-61.4	293	16.27
adr255	1	c498458	84.4	-56.7	409	348.99
adr256	1	c498458	84.4	-56.7	409	348.99
adr257	1	c498458	84.4	-56.7	409	348.99
adr258	1	c498458	70.8	-70.3	382	14.11
adr259	1	c498458	70.8	-70.3	382	14.11
adr260	1	c498458	70.8	-70.3	382	14.11
adr261	5	c351268	71.5	-69.6	766	174.76
adr262	5	c351268	71.5	-69.6	766	174.76
adr263	5	c351268	71.5	-69.6	766	174.76
adr264	15	c614307	71.8	-69.3	312	211.66
adr265	15	c614307	71.8	-69.3	312	211.66
adr266	15	c614307	71.8	-69.3	312	211.66
adr267	6	c067812	107.2	-33.9	128	311.52
adr268	6	c067812	107.2	-33.9	128	311.52
adr269	6	c067812	107.2	-33.9	128	311.52
adr270	15	c614307	68.1	-73.1	608	139.07
adr271	15	c614307	68.1	-73.1	608	139.07
adr272	15	c614307	68.1	-73.1	608	139.07
adr273	14	c336405	69.3	-71.8	496	62.66
adr274	14	c336405	69.3	-71.8	496	62.66
adr275	14	c336405	69.3	-71.8	496	62.66
adr276	14	c336405	70.7	-70.4	404	72.55
adr277	14	c336405	70.7	-70.4	404	72.55
adr278	14	c336405	70.7	-70.4	404	72.55
adr279	16	c575182	70.0	-71.1	612	267.00
adr280	16	c575182	70.0	-71.1	612	267.00
adr281	16	c575182	70.0	-71.1	612	267.00
adr282	15	c614307	84.6	-56.5	1476	216.30
adr283	15	c614307	84.6	-56.5	1476	216.30
adr284	15	c614307	84.6	-56.5	1476	216.30
adr285	15	c614307	79.4	-61.7	650	161.34
adr286	15	c614307	79.4	-61.7	650	161.34
adr287	15	c614307	79.4	-61.7	650	161.34
adr288	16	c575182	69.8	-71.3	555	290.36
adr289	16	c575182	69.8	-71.3	555	290.36
adr290	16	c575182	69.8	-71.3	555	290.36
adr291	1	c498458	80.5	-60.6	450	11.41
adr292	1	c498458	80.5	-60.6	450	11.41
adr293	1	c498458	80.5	-60.6	450	11.41
adr294	5	c351268	80.0	-61.2	296	186.79
adr295	5	c351268	80.0	-61.2	296	186.79
adr296	5	c351268	80.0	-61.2	296	186.79
adr297	6	c067812	85.0	-56.2	757	303.04
adr298	6	c067812	85.0	-56.2	757	303.04
adr299	6	c067812	85.0	-56.2	757	303.04
adr300	14	c336405	68.7	-72.4	763	56.98
adr301	14	c336405	68.7	-72.4	763	56.98
adr302	14	c336405	68.7	-72.4	763	56.98
adr303	4	c344065	71.7	-69.4	446	45.91
adr304	4	c344065	71.7	-69.4	446	45.91
adr305	4	c344065	71.7	-69.4	446	45.91
adr306	1	c498458	76.2	-64.9	1040	25.95
adr307	1	c498458	76.2	-64.9	1040	25.95
adr308	1	c498458	76.2	-64.9	1040	25.95
adr309	14	c336405	71.3	-69.8	553	90.52
adr310	14	c336405	71.3	-69.8	553	90.52
adr311	14	c336405	71.3	-69.8	553	90.52
adr312	14	c336405	81.0	-60.1	449	133.19
adr313	14	c336405	81.0	-60.1	449	133.19
adr314	14	c336405	81.0	-60.1	449	133.19
adr315	14	c336405	85.4	-55.7	417	119.27
adr316	14	c336405	85.4	-55.7	417	119.27
adr317	14	c336405	85.4	-55.7	417	119.27
adr318	1	c498458	70.7	-70.4	788	336.27
adr319	1	c498458	70.7	-70.4	788	336.27
adr320	1	c498458	70.7	-70.4	788	336.27
adr321	1	c498458	110.8	-30.3	28	340.91
adr322	1	c498458	110.8	-30.3	28	340.91
adr323	1	c498458	110.8	-30.3	28	340.91
adr324	15	c614307	80.7	-60.4	544	150.23
adr325	15	c614307	80.7	-60.4	544	150.23
adr326	15	c614307	80.7	-60.4	544	150.23
adr327	16	c575182	74.8	-66.4	889	246.03
adr328	16	c575182	74.8	-66.4	889	246.03
adr329	16	c575182	74.8	-66.4	889	246.03
adr330	16	c575182	72.5	-68.7	234	255.37
adr331	16	c575182	72.5	-68.7	234	255.37

adr331	16	c575182	72.5	-68.7	234	255.37
adr332	16	c575182	72.5	-68.7	234	255.37
adr333	1	c498458	68.0	-73.1	1584	24.51
adr334	1	c498458	68.0	-73.1	1584	24.51
adr335	1	c498458	68.0	-73.1	1584	24.51
adr336	5	c351268	78.9	-62.3	538	181.17
adr337	5	c351268	78.9	-62.3	538	181.17
adr338	5	c351268	78.9	-62.3	538	181.17
adr339	12	c297952	81.7	-59.5	1686	260.40
adr340	12	c297952	81.7	-59.5	1686	260.40
adr341	12	c297952	81.7	-59.5	1686	260.40
adr342	6	c067812	93.3	-47.8	102	311.82
adr343	6	c067812	93.3	-47.8	102	311.82
adr344	6	c067812	93.3	-47.8	102	311.82
adr345	6	c067812	64.5	-76.6	982	311.37
adr346	6	c067812	64.5	-76.6	982	311.37
adr347	6	c067812	64.5	-76.6	982	311.37
adr348	15	c614307	73.2	-67.9	369	142.26
adr349	15	c614307	73.2	-67.9	369	142.26
adr350	15	c614307	73.2	-67.9	369	142.26
adr351	16	c575182	78.9	-62.3	644	282.55
adr352	16	c575182	78.9	-62.3	644	282.55
adr353	16	c575182	78.9	-62.3	644	282.55
adr354	5	c351268	72.4	-68.7	418	223.74
adr355	5	c351268	72.4	-68.7	418	223.74
adr356	5	c351268	72.4	-68.7	418	223.74
adr357	5	c351268	77.8	-63.3	483	165.73
adr358	5	c351268	77.8	-63.3	483	165.73
adr359	5	c351268	77.8	-63.3	483	165.73
adr360	15	c614307	77.4	-63.8	1574	176.65
adr361	15	c614307	77.4	-63.8	1574	176.65
adr362	15	c614307	77.4	-63.8	1574	176.65
adr363	14	c336405	98.7	-42.4	571	118.45
adr364	14	c336405	98.7	-42.4	571	118.45
adr365	14	c336405	98.7	-42.4	571	118.45
adr366	16	c575182	79.4	-61.8	433	299.17
adr367	16	c575182	79.4	-61.8	433	299.17
adr368	16	c575182	79.4	-61.8	433	299.17
adr369	14	c336405	63.9	-77.2	675	49.99
adr370	14	c336405	63.9	-77.2	675	49.99
adr371	14	c336405	63.9	-77.2	675	49.99
adr372	1	c498458	98.7	-42.4	715	325.38
adr373	1	c498458	98.7	-42.4	715	325.38
adr374	1	c498458	98.7	-42.4	715	325.38
adr375	15	c614307	74.8	-66.4	418	143.08
adr376	15	c614307	74.8	-66.4	418	143.08
adr377	15	c614307	74.8	-66.4	418	143.08
adr378	16	c575182	76.4	-64.7	440	245.01
adr379	16	c575182	76.4	-64.7	440	245.01
adr380	16	c575182	76.4	-64.7	440	245.01
adr381	4	c344065	90.1	-51.0	255	93.83
adr382	4	c344065	90.1	-51.0	255	93.83
adr383	4	c344065	90.1	-51.0	255	93.83
adr384	5	c351268	69.4	-71.8	565	167.64
adr385	5	c351268	69.4	-71.8	565	167.64
adr386	5	c351268	69.4	-71.8	565	167.64
adr387	13	c819025	62.0	-79.1	393	328.01
adr388	13	c819025	62.0	-79.1	393	328.01
adr389	13	c819025	62.0	-79.1	393	328.01
adr390	1	c498458	99.8	-41.2	764	322.98
adr391	1	c498458	99.8	-41.2	764	322.98
adr392	1	c498458	99.8	-41.2	764	322.98
adr393	4	c344065	89.2	-51.9	246	93.49
adr394	4	c344065	89.2	-51.9	246	93.49
adr395	4	c344065	89.2	-51.9	246	93.49
adr396	6	c067812	88.9	-52.2	306	300.16
adr397	6	c067812	88.9	-52.2	306	300.16
adr398	6	c067812	88.9	-52.2	306	300.16
adr399	1	c498458	77.2	-63.9	1136	17.62
adr400	1	c498458	77.2	-63.9	1136	17.62
adr401	1	c498458	77.2	-63.9	1136	17.62
adr402	5	c351268	104.1	-37.1	588	176.39
adr403	5	c351268	104.1	-37.1	588	176.39
adr404	5	c351268	104.1	-37.1	588	176.39
adr405	5	c351268	77.6	-63.5	632	172.36
adr406	5	c351268	77.6	-63.5	632	172.36
adr407	5	c351268	77.6	-63.5	632	172.36
adr408	15	c614307	70.9	-70.2	409	202.11
adr409	15	c614307	70.9	-70.2	409	202.11
adr410	15	c614307	70.9	-70.2	409	202.11
adr411	5	c351268	77.7	-63.4	727	182.84
adr412	5	c351268	77.7	-63.4	727	182.84
adr413	5	c351268	77.7	-63.4	727	182.84
adr414	1	c498458	77.2	-63.9	1225	329.00
adr415	1	c498458	77.2	-63.9	1225	329.00

adr415	1	c498458	77.2	-63.9	1225	329.00
adr416	1	c498458	77.2	-63.9	1225	329.00
adr417	4	c344065	83.0	-58.2	289	123.41
adr418	4	c344065	83.0	-58.2	289	123.41
adr419	4	c344065	83.0	-58.2	289	123.41
adr420	6	c067812	68.0	-73.1	931	259.73
adr421	6	c067812	68.0	-73.1	931	259.73
adr422	6	c067812	68.0	-73.1	931	259.73
adr423	14	c336405	64.4	-76.7	599	57.69
adr424	14	c336405	64.4	-76.7	599	57.69
adr425	14	c336405	64.4	-76.7	599	57.69
adr426	5	c351268	114.0	-27.1	160	160.32
adr427	5	c351268	114.0	-27.1	160	160.32
adr428	5	c351268	114.0	-27.1	160	160.32
adr429	14	c336405	94.8	-46.3	208	100.50
adr430	14	c336405	94.8	-46.3	208	100.50
adr431	14	c336405	94.8	-46.3	208	100.50
adr432	5	c351268	64.4	-76.7	649	188.16
adr433	5	c351268	64.4	-76.7	649	188.16
adr434	5	c351268	64.4	-76.7	649	188.16
adr435	15	c614307	79.5	-61.7	1363	216.92
adr436	15	c614307	79.5	-61.7	1363	216.92
adr437	15	c614307	79.5	-61.7	1363	216.92
adr438	6	c067812	89.5	-51.7	417	307.50
adr439	6	c067812	89.5	-51.7	417	307.50
adr440	6	c067812	89.5	-51.7	417	307.50
adr441	13	c819025	89.7	-51.4	165	5.57
adr442	13	c819025	89.7	-51.4	165	5.57
adr443	13	c819025	89.7	-51.4	165	5.57
adr444	4	c344065	73.6	-67.6	175	48.94
adr445	4	c344065	73.6	-67.6	175	48.94
adr446	4	c344065	73.6	-67.6	175	48.94
adr447	15	c614307	75.5	-65.6	417	159.35
adr448	15	c614307	75.5	-65.6	417	159.35
adr449	15	c614307	75.5	-65.6	417	159.35
adr450	6	c067812	113.6	-27.5	139	263.80
adr451	6	c067812	113.6	-27.5	139	263.80
adr452	6	c067812	113.6	-27.5	139	263.80
adr453	5	c351268	82.8	-58.3	193	135.63
adr454	5	c351268	82.8	-58.3	193	135.63
adr455	5	c351268	82.8	-58.3	193	135.63
adr456	16	c575182	75.7	-65.5	986	245.49
adr457	16	c575182	75.7	-65.5	986	245.49
adr458	16	c575182	75.7	-65.5	986	245.49
adr459	14	c336405	78.0	-63.1	140	90.82
adr460	14	c336405	78.0	-63.1	140	90.82
adr461	14	c336405	78.0	-63.1	140	90.82
adr462	1	c498458	99.5	-41.6	809	325.07
adr463	1	c498458	99.5	-41.6	809	325.07
adr464	1	c498458	99.5	-41.6	809	325.07
adr465	16	c575182	68.8	-72.3	654	263.85
adr466	16	c575182	68.8	-72.3	654	263.85
adr467	16	c575182	68.8	-72.3	654	263.85
adr468	16	c575182	71.3	-69.8	488	226.66
adr469	16	c575182	71.3	-69.8	488	226.66
adr470	16	c575182	71.3	-69.8	488	226.66
adr471	13	c819025	84.5	-56.6	310	39.38
adr472	13	c819025	84.5	-56.6	310	39.38
adr473	13	c819025	84.5	-56.6	310	39.38
adr474	5	c351268	78.1	-63.0	431	224.91
adr475	5	c351268	78.1	-63.0	431	224.91
adr476	5	c351268	78.1	-63.0	431	224.91
adr477	13	c819025	70.5	-70.6	154	342.62
adr478	13	c819025	70.5	-70.6	154	342.62
adr479	13	c819025	70.5	-70.6	154	342.62
adr480	1	c498458	63.2	-77.9	884	324.30
adr481	1	c498458	63.2	-77.9	884	324.30
adr482	1	c498458	63.2	-77.9	884	324.30
adr483	6	c067812	66.7	-74.4	692	250.94
adr484	6	c067812	66.7	-74.4	692	250.94
adr485	6	c067812	66.7	-74.4	692	250.94
adr486	13	c819025	81.5	-59.6	338	22.08
adr487	13	c819025	81.5	-59.6	338	22.08
adr488	13	c819025	81.5	-59.6	338	22.08
adr489	1	c498458	85.5	-55.6	267	339.87
adr490	1	c498458	85.5	-55.6	267	339.87
adr491	1	c498458	85.5	-55.6	267	339.87
adr492	1	c498458	95.5	-45.6	500	329.08
adr493	1	c498458	95.5	-45.6	500	329.08
adr494	1	c498458	95.5	-45.6	500	329.08
adr495	1	c498458	99.1	-42.0	827	323.25
adr496	1	c498458	99.1	-42.0	827	323.25
adr497	1	c498458	99.1	-42.0	827	323.25
adr498	1	c498458	83.8	-57.3	989	322.89
adr499	1	c498458	83.8	-57.3	989	322.89

adr499	1	c498458	83.8	-57.3	989	322.89
adr500	1	c498458	83.8	-57.3	989	322.89
adr501	1	c498458	78.2	-62.9	481	341.34
adr502	1	c498458	78.2	-62.9	481	341.34
adr503	1	c498458	78.2	-62.9	481	341.34
adr504	14	c336405	60.5	-80.6	690	62.91
adr505	14	c336405	60.5	-80.6	690	62.91
adr506	14	c336405	60.5	-80.6	690	62.91
adr507	6	c067812	95.7	-45.4	392	258.23
adr508	6	c067812	95.7	-45.4	392	258.23
adr509	6	c067812	95.7	-45.4	392	258.23
adr510	5	c351268	69.0	-72.1	476	151.76
adr511	5	c351268	69.0	-72.1	476	151.76
adr512	5	c351268	69.0	-72.1	476	151.76
adr513	15	c614307	82.2	-58.9	575	143.85
adr514	15	c614307	82.2	-58.9	575	143.85
adr515	15	c614307	82.2	-58.9	575	143.85
adr516	15	c614307	73.9	-67.2	140	220.38
adr517	15	c614307	73.9	-67.2	140	220.38
adr518	15	c614307	73.9	-67.2	140	220.38
adr519	14	c336405	76.8	-64.3	516	128.07
adr520	14	c336405	76.8	-64.3	516	128.07
adr521	14	c336405	76.8	-64.3	516	128.07
adr522	5	c351268	78.2	-62.9	640	173.63
adr523	5	c351268	78.2	-62.9	640	173.63
adr524	5	c351268	78.2	-62.9	640	173.63
adr525	16	c575182	65.0	-76.2	549	233.15
adr526	16	c575182	65.0	-76.2	549	233.15
adr527	16	c575182	65.0	-76.2	549	233.15
adr528	9	c570421	82.3	-58.8	1867	273.32
adr529	9	c570421	82.3	-58.8	1867	273.32
adr530	9	c570421	82.3	-58.8	1867	273.32
adr531	15	c614307	73.3	-67.8	315	153.03
adr532	15	c614307	73.3	-67.8	315	153.03
adr533	15	c614307	73.3	-67.8	315	153.03
adr534	5	c351268	100.9	-40.2	68	201.64
adr535	5	c351268	100.9	-40.2	68	201.64
adr536	5	c351268	100.9	-40.2	68	201.64
adr537	14	c336405	71.9	-69.2	386	65.03
adr538	14	c336405	71.9	-69.2	386	65.03
adr539	14	c336405	71.9	-69.2	386	65.03
adr540	1	c498458	71.5	-69.6	1013	317.40
adr541	1	c498458	71.5	-69.6	1013	317.40
adr542	1	c498458	71.5	-69.6	1013	317.40
adr543	5	c351268	109.3	-31.9	350	166.80
adr544	5	c351268	109.3	-31.9	350	166.80
adr545	5	c351268	109.3	-31.9	350	166.80
adr546	12	c297952	77.3	-63.8	1653	267.89
adr547	1	c498458	72.9	-68.2	810	347.23
adr548	15	c614307	68.8	-72.3	373	170.44
adr549	16	c575182	68.0	-73.2	798	267.92
adr550	6	c067812	69.4	-71.7	839	266.93
adr551	14	c336405	75.7	-65.4	339	87.13
adr552	4	c344065	76.3	-64.8	201	116.57
adr553	16	c575182	75.1	-66.1	887	231.41
adr554	15	c614307	80.0	-61.2	478	147.21
adr555	16	c575182	74.1	-67.1	747	253.82
adr556	15	c614307	83.5	-57.7	293	221.26
adr557	15	c614307	81.9	-59.2	1243	212.62
adr558	16	c575182	66.9	-74.2	601	257.42
adr559	1	c498458	74.2	-66.9	755	17.19
adr560	13	c819025	71.3	-69.8	393	334.54
adr561	6	c067812	106.1	-35.1	418	238.40
adr562	16	c575182	88.7	-52.5	114	254.74
adr563	14	c336405	73.0	-68.1	308	62.94
adr564	1	c498458	89.1	-52.0	260	321.41
adr565	5	c351268	75.3	-65.9	250	196.04
adr566	6	c067812	107.2	-33.9	455	259.48
adr567	16	c575182	76.9	-64.3	591	285.49
adr568	16	c575182	71.2	-70.0	557	247.85
adr569	14	c336405	71.8	-69.3	434	55.43
adr570	13	c819025	70.2	-70.9	369	337.05
adr571	16	c575182	109.2	-31.9	264	305.44
adr572	6	c067812	66.2	-74.9	828	277.29
adr573	15	c614307	71.6	-69.6	549	193.91
adr574	1	c498458	97.0	-44.1	637	319.71
adr575	5	c351268	108.0	-33.1	409	176.21
adr576	15	c614307	73.5	-67.6	669	178.63
adr577	1	c498458	106.5	-34.6	323	316.38
adr578	6	c067812	108.8	-32.4	392	275.57
adr579	4	c344065	106.3	-34.9	60	49.09
adr580	6	c067812	81.3	-59.8	682	262.76
adr581	15	c614307	96.9	-44.2	413	189.76
adr582	13	c819025	78.2	-62.9	160	1.43
adr583	5	c351268	84.6	-56.5	404	205.04

adr583	5	c351268	84.6	-56.5	404	205.04
adr584	6	c067812	107.5	-33.6	311	229.56
adr585	15	c614307	82.0	-59.1	1340	216.32
adr586	1	c498458	88.6	-52.5	543	321.80
adr587	16	c575182	80.1	-61.1	349	298.77
adr588	none	orphan	none	none	none	none
adr589	none	orphan	none	none	none	none
adr590	none	orphan	none	none	none	none
adr591	none	orphan	none	none	none	none
adr592	none	orphan	none	none	none	none
adr593	none	orphan	none	none	none	none
adr594	none	orphan	none	none	none	none
adr595	none	orphan	none	none	none	none
adr596	none	orphan	none	none	none	none
adr597	none	orphan	none	none	none	none
adr598	none	orphan	none	none	none	none
adr599	none	orphan	none	none	none	none

PARENTING – Modelo ITU-R 525 p/ 802.16d

Subscriber	BST #	Call-sign	FSR (dBuV/m)	PR (dBm)	Distance (m)	Azimuth (°)
adr1	2	c650776	84.8	-56.3	239	22.92
adr2	2	c650776	84.8	-56.3	239	22.92
adr3	2	c650776	84.8	-56.3	239	22.92
adr4	6	c067812	56.7	-84.5	1344	234.15
adr5	6	c067812	56.7	-84.5	1344	234.15
adr6	6	c067812	56.7	-84.5	1344	234.15
adr7	10	c435254	71.0	-70.2	478	172.31
adr8	10	c435254	71.0	-70.2	478	172.31
adr9	10	c435254	71.0	-70.2	478	172.31
adr10	13	c819025	51.5	-89.5	1724	317.35
adr11	13	c819025	51.5	-89.5	1724	317.35
adr12	13	c819025	51.5	-89.5	1724	317.35
adr13	4	c344065	59.1	-82.0	1299	72.76
adr14	4	c344065	59.1	-82.0	1299	72.76
adr15	4	c344065	59.1	-82.0	1299	72.76
adr16	6	c067812	60.0	-81.1	1218	248.47
adr17	6	c067812	60.0	-81.1	1218	248.47
adr18	6	c067812	60.0	-81.1	1218	248.47
adr19	6	c067812	63.2	-77.9	1055	255.67
adr20	6	c067812	63.2	-77.9	1055	255.67
adr21	6	c067812	63.2	-77.9	1055	255.67
adr22	16	c575182	58.2	-83.0	1354	250.00
adr23	16	c575182	58.2	-83.0	1354	250.00
adr24	16	c575182	58.2	-83.0	1354	250.00
adr25	16	c575182	71.2	-69.9	621	302.23
adr26	16	c575182	71.2	-69.9	621	302.23
adr27	16	c575182	71.2	-69.9	621	302.23
adr28	7	c416028	59.9	-81.2	839	135.58
adr29	7	c416028	59.9	-81.2	839	135.58
adr30	7	c416028	59.9	-81.2	839	135.58
adr31	3	c880794	61.3	-79.8	944	11.18
adr32	3	c880794	61.3	-79.8	944	11.18
adr33	3	c880794	61.3	-79.8	944	11.18
adr34	3	c880794	52.8	-88.3	1336	322.88
adr35	3	c880794	52.8	-88.3	1336	322.88
adr36	3	c880794	52.8	-88.3	1336	322.88
adr37	4	c344065	59.5	-81.7	1264	71.22
adr38	4	c344065	59.5	-81.7	1264	71.22
adr39	4	c344065	59.5	-81.7	1264	71.22
adr40	7	c416028	65.3	-75.8	572	148.01
adr41	7	c416028	65.3	-75.8	572	148.01
adr42	7	c416028	65.3	-75.8	572	148.01
adr43	13	c819025	61.6	-79.5	1052	328.29
adr44	13	c819025	61.6	-79.5	1052	328.29
adr45	13	c819025	61.6	-79.5	1052	328.29
adr46	3	c880794	62.5	-78.6	891	4.18
adr47	3	c880794	62.5	-78.6	891	4.18
adr48	3	c880794	62.5	-78.6	891	4.18
adr49	3	c880794	54.9	-86.2	960	65.12
adr50	3	c880794	54.9	-86.2	960	65.12
adr51	3	c880794	54.9	-86.2	960	65.12
adr52	10	c435254	70.5	-70.6	441	81.01
adr53	5	c351268	63.0	-78.1	929	142.39
adr54	14	c336405	60.8	-80.3	1019	47.07
adr55	12	c297952	65.5	-75.7	690	243.51
adr56	13	c819025	65.0	-76.1	975	8.97
adr57	7	c416028	66.6	-74.5	596	130.58
adr58	9	c570421	73.6	-67.5	491	235.37
adr59	9	c570421	73.6	-67.5	491	235.37
adr60	9	c570421	73.6	-67.5	491	235.37
adr61	7	c416028	62.6	-78.5	798	61.96
adr62	7	c416028	62.6	-78.5	798	61.96
adr63	7	c416028	62.6	-78.5	798	61.96
adr64	3	c880794	56.6	-84.5	1216	348.18
adr65	3	c880794	56.6	-84.5	1216	348.18
adr66	3	c880794	56.6	-84.5	1216	348.18
adr67	9	c570421	70.5	-70.6	577	236.94
adr68	9	c570421	70.5	-70.6	577	236.94
adr69	9	c570421	70.5	-70.6	577	236.94
adr70	12	c297952	87.5	-53.7	189	310.27
adr71	12	c297952	87.5	-53.7	189	310.27
adr72	12	c297952	87.5	-53.7	189	310.27
adr73	10	c435254	65.8	-75.3	724	143.87
adr74	10	c435254	65.8	-75.3	724	143.87
adr75	10	c435254	65.8	-75.3	724	143.87
adr76	2	c650776	83.1	-57.9	260	336.69
adr77	2	c650776	83.1	-57.9	260	336.69
adr78	2	c650776	83.1	-57.9	260	336.69
adr79	9	c570421	74.2	-66.9	468	239.44

adr79	9	c570421	74.2	-66.9	468	239.44
adr80	9	c570421	74.2	-66.9	468	239.44
adr81	9	c570421	74.2	-66.9	468	239.44
adr82	2	c650776	63.8	-77.3	810	343.42
adr83	2	c650776	63.8	-77.3	810	343.42
adr84	2	c650776	63.8	-77.3	810	343.42
adr85	10	c435254	60.7	-80.4	957	141.92
adr86	10	c435254	60.7	-80.4	957	141.92
adr87	10	c435254	60.7	-80.4	957	141.92
adr88	12	c297952	65.0	-76.2	768	279.52
adr89	12	c297952	65.0	-76.2	768	279.52
adr90	12	c297952	65.0	-76.2	768	279.52
adr91	9	c570421	73.7	-67.4	412	268.19
adr92	9	c570421	73.7	-67.4	412	268.19
adr93	9	c570421	73.7	-67.4	412	268.19
adr94	10	c435254	63.7	-77.5	791	119.87
adr95	10	c435254	63.7	-77.5	791	119.87
adr96	10	c435254	63.7	-77.5	791	119.87
adr97	12	c297952	67.3	-73.9	572	313.37
adr98	12	c297952	67.3	-73.9	572	313.37
adr99	12	c297952	67.3	-73.9	572	313.37
adr100	12	c297952	64.0	-77.1	678	225.78
adr101	12	c297952	64.0	-77.1	678	225.78
adr102	12	c297952	64.0	-77.1	678	225.78
adr103	3	c880794	62.8	-78.3	758	322.72
adr104	3	c880794	62.8	-78.3	758	322.72
adr105	3	c880794	62.8	-78.3	758	322.72
adr106	9	c570421	75.0	-66.1	418	198.57
adr107	9	c570421	75.0	-66.1	418	198.57
adr108	9	c570421	75.0	-66.1	418	198.57
adr109	2	c650776	78.9	-62.2	369	351.74
adr110	2	c650776	78.9	-62.2	369	351.74
adr111	2	c650776	78.9	-62.2	369	351.74
adr112	3	c880794	56.7	-84.4	1225	353.06
adr113	3	c880794	56.7	-84.4	1225	353.06
adr114	3	c880794	56.7	-84.4	1225	353.06
adr115	9	c570421	63.3	-77.9	836	209.85
adr116	9	c570421	63.3	-77.9	836	209.85
adr117	9	c570421	63.3	-77.9	836	209.85
adr118	2	c650776	70.9	-70.2	564	348.97
adr119	2	c650776	70.9	-70.2	564	348.97
adr120	2	c650776	70.9	-70.2	564	348.97
adr121	14	c336405	60.0	-81.2	1231	73.63
adr122	14	c336405	60.0	-81.2	1231	73.63
adr123	14	c336405	60.0	-81.2	1231	73.63
adr124	2	c650776	71.1	-70.0	562	353.67
adr125	2	c650776	71.1	-70.0	562	353.67
adr126	2	c650776	71.1	-70.0	562	353.67
adr127	3	c880794	60.9	-80.2	992	0.29
adr128	3	c880794	60.9	-80.2	992	0.29
adr129	3	c880794	60.9	-80.2	992	0.29
adr130	12	c297952	86.5	-54.7	199	311.94
adr131	12	c297952	86.5	-54.7	199	311.94
adr132	12	c297952	86.5	-54.7	199	311.94
adr133	2	c650776	73.9	-67.2	479	348.55
adr134	2	c650776	73.9	-67.2	479	348.55
adr135	2	c650776	73.9	-67.2	479	348.55
adr136	9	c570421	63.9	-77.2	699	184.51
adr137	9	c570421	63.9	-77.2	699	184.51
adr138	9	c570421	63.9	-77.2	699	184.51
adr139	2	c650776	82.5	-58.6	285	344.30
adr140	2	c650776	82.5	-58.6	285	344.30
adr141	2	c650776	82.5	-58.6	285	344.30
adr142	7	c416028	64.5	-76.6	711	60.16
adr143	7	c416028	64.5	-76.6	711	60.16
adr144	7	c416028	64.5	-76.6	711	60.16
adr145	2	c650776	75.9	-65.2	435	354.33
adr146	2	c650776	75.9	-65.2	435	354.33
adr147	2	c650776	75.9	-65.2	435	354.33
adr148	9	c570421	74.7	-66.4	442	206.45
adr149	9	c570421	74.7	-66.4	442	206.45
adr150	9	c570421	74.7	-66.4	442	206.45
adr151	9	c570421	69.2	-71.9	602	209.12
adr152	9	c570421	69.2	-71.9	602	209.12
adr153	9	c570421	69.2	-71.9	602	209.12
adr154	3	c880794	55.2	-85.9	1252	336.96
adr155	3	c880794	55.2	-85.9	1252	336.96
adr156	3	c880794	55.2	-85.9	1252	336.96
adr157	9	c570421	67.4	-73.8	566	179.90
adr158	2	c650776	67.4	-73.7	682	349.00
adr159	12	c297952	63.3	-77.9	754	302.59
adr160	10	c435254	76.0	-65.1	416	141.64
adr161	3	c880794	53.6	-87.5	1326	330.75
adr162	7	c416028	66.1	-75.0	643	56.16
adr163	9	c570421	71.9	-69.2	525	210.57

adr163	9	c570421	71.9	-69.2	525	210.57
adr164	2	c650776	63.5	-77.6	719	38.85
adr165	3	c880794	55.8	-85.3	1256	345.43
adr166	10	c435254	62.6	-78.5	860	143.80
adr167	9	c570421	66.0	-75.1	745	223.80
adr168	16	c575182	88.9	-52.2	193	228.14
adr169	16	c575182	88.9	-52.2	193	228.14
adr170	16	c575182	88.9	-52.2	193	228.14
adr171	16	c575182	73.3	-67.9	608	284.77
adr172	16	c575182	73.3	-67.9	608	284.77
adr173	16	c575182	73.3	-67.9	608	284.77
adr174	5	c351268	90.4	-50.7	219	199.51
adr175	5	c351268	90.4	-50.7	219	199.51
adr176	5	c351268	90.4	-50.7	219	199.51
adr177	15	c614307	70.7	-70.5	637	146.26
adr178	15	c614307	70.7	-70.5	637	146.26
adr179	15	c614307	70.7	-70.5	637	146.26
adr180	4	c344065	82.6	-58.5	375	89.08
adr181	4	c344065	82.6	-58.5	375	89.08
adr182	4	c344065	82.6	-58.5	375	89.08
adr183	4	c344065	80.8	-60.3	390	70.08
adr184	4	c344065	80.8	-60.3	390	70.08
adr185	4	c344065	80.8	-60.3	390	70.08
adr186	6	c067812	73.7	-67.5	596	256.41
adr187	6	c067812	73.7	-67.5	596	256.41
adr188	6	c067812	73.7	-67.5	596	256.41
adr189	13	c819025	84.9	-56.2	333	358.80
adr190	13	c819025	84.9	-56.2	333	358.80
adr191	13	c819025	84.9	-56.2	333	358.80
adr192	14	c336405	72.4	-68.8	576	123.97
adr193	14	c336405	72.4	-68.8	576	123.97
adr194	14	c336405	72.4	-68.8	576	123.97
adr195	16	c575182	84.1	-57.0	275	228.09
adr196	16	c575182	84.1	-57.0	275	228.09
adr197	16	c575182	84.1	-57.0	275	228.09
adr198	6	c067812	69.2	-71.9	727	247.25
adr199	6	c067812	69.2	-71.9	727	247.25
adr200	6	c067812	69.2	-71.9	727	247.25
adr201	6	c067812	71.1	-70.0	696	262.24
adr202	6	c067812	71.1	-70.0	696	262.24
adr203	6	c067812	71.1	-70.0	696	262.24
adr204	6	c067812	72.5	-68.7	546	227.23
adr205	6	c067812	72.5	-68.7	546	227.23
adr206	6	c067812	72.5	-68.7	546	227.23
adr207	5	c351268	82.9	-58.2	368	185.93
adr208	5	c351268	82.9	-58.2	368	185.93
adr209	5	c351268	82.9	-58.2	368	185.93
adr210	4	c344065	77.7	-63.4	419	128.40
adr211	4	c344065	77.7	-63.4	419	128.40
adr212	4	c344065	77.7	-63.4	419	128.40
adr213	15	c614307	69.1	-72.0	704	150.27
adr214	15	c614307	69.1	-72.0	704	150.27
adr215	15	c614307	69.1	-72.0	704	150.27
adr216	1	c498458	73.1	-68.0	573	333.03
adr217	1	c498458	73.1	-68.0	573	333.03
adr218	1	c498458	73.1	-68.0	573	333.03
adr219	16	c575182	76.0	-65.1	505	247.40
adr220	16	c575182	76.0	-65.1	505	247.40
adr221	16	c575182	76.0	-65.1	505	247.40
adr222	5	c351268	91.8	-49.3	190	151.68
adr223	5	c351268	91.8	-49.3	190	151.68
adr224	5	c351268	91.8	-49.3	190	151.68
adr225	16	c575182	80.0	-61.2	367	311.46
adr226	16	c575182	80.0	-61.2	367	311.46
adr227	16	c575182	80.0	-61.2	367	311.46
adr228	6	c067812	93.2	-48.0	154	294.57
adr229	6	c067812	93.2	-48.0	154	294.57
adr230	6	c067812	93.2	-48.0	154	294.57
adr231	14	c336405	95.2	-45.9	171	88.66
adr232	14	c336405	95.2	-45.9	171	88.66
adr233	14	c336405	95.2	-45.9	171	88.66
adr234	5	c351268	79.4	-61.7	428	198.27
adr235	5	c351268	79.4	-61.7	428	198.27
adr236	5	c351268	79.4	-61.7	428	198.27
adr237	14	c336405	72.5	-68.6	578	121.49
adr238	14	c336405	72.5	-68.6	578	121.49
adr239	14	c336405	72.5	-68.6	578	121.49
adr240	1	c498458	85.9	-55.2	274	333.06
adr241	1	c498458	85.9	-55.2	274	333.06
adr242	1	c498458	85.9	-55.2	274	333.06
adr243	16	c575182	73.2	-67.9	597	289.68
adr244	16	c575182	73.2	-67.9	597	289.68
adr245	16	c575182	73.2	-67.9	597	289.68
adr246	14	c336405	96.2	-44.9	117	65.19
adr247	14	c336405	96.2	-44.9	117	65.19

adr247	14	c336405	96.2	-44.9	117	65.19
adr248	14	c336405	96.2	-44.9	117	65.19
adr249	16	c575182	79.5	-61.7	444	258.56
adr250	16	c575182	79.5	-61.7	444	258.56
adr251	16	c575182	79.5	-61.7	444	258.56
adr252	13	c819025	86.3	-54.8	293	16.27
adr253	13	c819025	86.3	-54.8	293	16.27
adr254	13	c819025	86.3	-54.8	293	16.27
adr255	1	c498458	80.9	-60.2	409	348.99
adr256	1	c498458	80.9	-60.2	409	348.99
adr257	1	c498458	80.9	-60.2	409	348.99
adr258	1	c498458	81.8	-59.3	382	14.11
adr259	1	c498458	81.8	-59.3	382	14.11
adr260	1	c498458	81.8	-59.3	382	14.11
adr261	5	c351268	69.3	-71.8	766	174.76
adr262	5	c351268	69.3	-71.8	766	174.76
adr263	5	c351268	69.3	-71.8	766	174.76
adr264	15	c614307	83.8	-57.3	312	211.66
adr265	15	c614307	83.8	-57.3	312	211.66
adr266	15	c614307	83.8	-57.3	312	211.66
adr267	6	c067812	90.0	-51.1	128	311.52
adr268	6	c067812	90.0	-51.1	128	311.52
adr269	6	c067812	90.0	-51.1	128	311.52
adr270	15	c614307	70.8	-70.4	608	139.07
adr271	15	c614307	70.8	-70.4	608	139.07
adr272	15	c614307	70.8	-70.4	608	139.07
adr273	14	c336405	75.5	-65.6	496	62.66
adr274	14	c336405	75.5	-65.6	496	62.66
adr275	14	c336405	75.5	-65.6	496	62.66
adr276	14	c336405	80.4	-60.7	404	72.55
adr277	14	c336405	80.4	-60.7	404	72.55
adr278	14	c336405	80.4	-60.7	404	72.55
adr279	16	c575182	73.7	-67.5	612	267.00
adr280	16	c575182	73.7	-67.5	612	267.00
adr281	16	c575182	73.7	-67.5	612	267.00
adr282	6	c067812	70.1	-71.0	739	268.45
adr283	6	c067812	70.1	-71.0	739	268.45
adr284	6	c067812	70.1	-71.0	739	268.45
adr285	15	c614307	71.4	-69.8	650	161.34
adr286	15	c614307	71.4	-69.8	650	161.34
adr287	15	c614307	71.4	-69.8	650	161.34
adr288	16	c575182	74.5	-66.6	555	290.36
adr289	16	c575182	74.5	-66.6	555	290.36
adr290	16	c575182	74.5	-66.6	555	290.36
adr291	1	c498458	79.0	-62.1	450	11.41
adr292	1	c498458	79.0	-62.1	450	11.41
adr293	1	c498458	79.0	-62.1	450	11.41
adr294	5	c351268	86.6	-54.5	296	186.79
adr295	5	c351268	86.6	-54.5	296	186.79
adr296	5	c351268	86.6	-54.5	296	186.79
adr297	6	c067812	67.4	-73.7	757	303.04
adr298	6	c067812	67.4	-73.7	757	303.04
adr299	6	c067812	67.4	-73.7	757	303.04
adr300	14	c336405	67.1	-74.0	763	56.98
adr301	14	c336405	67.1	-74.0	763	56.98
adr302	14	c336405	67.1	-74.0	763	56.98
adr303	4	c344065	75.9	-65.2	446	45.91
adr304	4	c344065	75.9	-65.2	446	45.91
adr305	4	c344065	75.9	-65.2	446	45.91
adr306	14	c336405	79.1	-62.0	397	126.29
adr307	14	c336405	79.1	-62.0	397	126.29
adr308	14	c336405	79.1	-62.0	397	126.29
adr309	14	c336405	75.2	-65.9	553	90.52
adr310	14	c336405	75.2	-65.9	553	90.52
adr311	14	c336405	75.2	-65.9	553	90.52
adr312	14	c336405	76.2	-65.0	449	133.19
adr313	14	c336405	76.2	-65.0	449	133.19
adr314	14	c336405	76.2	-65.0	449	133.19
adr315	14	c336405	78.7	-62.5	417	119.27
adr316	14	c336405	78.7	-62.5	417	119.27
adr317	14	c336405	78.7	-62.5	417	119.27
adr318	16	c575182	69.3	-71.9	637	225.19
adr319	16	c575182	69.3	-71.9	637	225.19
adr320	16	c575182	69.3	-71.9	637	225.19
adr321	1	c498458	110.8	-30.3	28	340.91
adr322	1	c498458	110.8	-30.3	28	340.91
adr323	1	c498458	110.8	-30.3	28	340.91
adr324	15	c614307	74.0	-67.1	544	150.23
adr325	15	c614307	74.0	-67.1	544	150.23
adr326	15	c614307	74.0	-67.1	544	150.23
adr327	16	c575182	65.4	-75.7	889	246.03
adr328	16	c575182	65.4	-75.7	889	246.03
adr329	16	c575182	65.4	-75.7	889	246.03
adr330	16	c575182	89.4	-51.8	234	255.37
adr331	16	c575182	89.4	-51.8	234	255.37

adr331	16	c575182	89.4	-51.8	234	255.37
adr332	16	c575182	89.4	-51.8	234	255.37
adr333	14	c336405	72.4	-68.7	588	62.56
adr334	14	c336405	72.4	-68.7	588	62.56
adr335	14	c336405	72.4	-68.7	588	62.56
adr336	5	c351268	75.9	-65.3	538	181.17
adr337	5	c351268	75.9	-65.3	538	181.17
adr338	5	c351268	75.9	-65.3	538	181.17
adr339	14	c336405	74.7	-66.4	549	105.96
adr340	14	c336405	74.7	-66.4	549	105.96
adr341	14	c336405	74.7	-66.4	549	105.96
adr342	6	c067812	78.0	-63.1	102	311.82
adr343	6	c067812	78.0	-63.1	102	311.82
adr344	6	c067812	78.0	-63.1	102	311.82
adr345	16	c575182	62.3	-78.9	1016	239.14
adr346	16	c575182	62.3	-78.9	1016	239.14
adr347	16	c575182	62.3	-78.9	1016	239.14
adr348	15	c614307	80.1	-61.0	369	142.26
adr349	15	c614307	80.1	-61.0	369	142.26
adr350	15	c614307	80.1	-61.0	369	142.26
adr351	16	c575182	72.4	-68.8	644	282.55
adr352	16	c575182	72.4	-68.8	644	282.55
adr353	16	c575182	72.4	-68.8	644	282.55
adr354	5	c351268	77.4	-63.7	418	223.74
adr355	5	c351268	77.4	-63.7	418	223.74
adr356	5	c351268	77.4	-63.7	418	223.74
adr357	5	c351268	77.3	-63.8	483	165.73
adr358	5	c351268	77.3	-63.8	483	165.73
adr359	5	c351268	77.3	-63.8	483	165.73
adr360	5	c351268	76.7	-64.4	461	150.49
adr361	5	c351268	76.7	-64.4	461	150.49
adr362	5	c351268	76.7	-64.4	461	150.49
adr363	14	c336405	73.1	-68.1	571	118.45
adr364	14	c336405	73.1	-68.1	571	118.45
adr365	14	c336405	73.1	-68.1	571	118.45
adr366	16	c575182	78.2	-62.9	433	299.17
adr367	16	c575182	78.2	-62.9	433	299.17
adr368	16	c575182	78.2	-62.9	433	299.17
adr369	14	c336405	68.7	-72.4	675	49.99
adr370	14	c336405	68.7	-72.4	675	49.99
adr371	14	c336405	68.7	-72.4	675	49.99
adr372	1	c498458	68.5	-72.6	715	325.38
adr373	1	c498458	68.5	-72.6	715	325.38
adr374	1	c498458	68.5	-72.6	715	325.38
adr375	15	c614307	78.2	-62.9	418	143.08
adr376	15	c614307	78.2	-62.9	418	143.08
adr377	15	c614307	78.2	-62.9	418	143.08
adr378	16	c575182	78.4	-62.7	440	245.01
adr379	16	c575182	78.4	-62.7	440	245.01
adr380	16	c575182	78.4	-62.7	440	245.01
adr381	4	c344065	89.0	-52.2	255	93.83
adr382	4	c344065	89.0	-52.2	255	93.83
adr383	4	c344065	89.0	-52.2	255	93.83
adr384	5	c351268	74.6	-66.6	565	167.64
adr385	5	c351268	74.6	-66.6	565	167.64
adr386	5	c351268	74.6	-66.6	565	167.64
adr387	13	c819025	79.8	-61.3	393	328.01
adr388	13	c819025	79.8	-61.3	393	328.01
adr389	13	c819025	79.8	-61.3	393	328.01
adr390	1	c498458	67.0	-74.1	764	322.98
adr391	1	c498458	67.0	-74.1	764	322.98
adr392	1	c498458	67.0	-74.1	764	322.98
adr393	4	c344065	89.5	-51.7	246	93.49
adr394	4	c344065	89.5	-51.7	246	93.49
adr395	4	c344065	89.5	-51.7	246	93.49
adr396	6	c067812	83.9	-57.3	306	300.16
adr397	6	c067812	83.9	-57.3	306	300.16
adr398	6	c067812	83.9	-57.3	306	300.16
adr399	14	c336405	89.7	-51.4	226	112.60
adr400	14	c336405	89.7	-51.4	226	112.60
adr401	14	c336405	89.7	-51.4	226	112.60
adr402	5	c351268	74.2	-67.0	588	176.39
adr403	5	c351268	74.2	-67.0	588	176.39
adr404	5	c351268	74.2	-67.0	588	176.39
adr405	5	c351268	72.8	-68.3	632	172.36
adr406	5	c351268	72.8	-68.3	632	172.36
adr407	5	c351268	72.8	-68.3	632	172.36
adr408	15	c614307	79.7	-61.4	409	202.11
adr409	15	c614307	79.7	-61.4	409	202.11
adr410	15	c614307	79.7	-61.4	409	202.11
adr411	5	c351268	70.3	-70.8	727	182.84
adr412	5	c351268	70.3	-70.8	727	182.84
adr413	5	c351268	70.3	-70.8	727	182.84
adr414	16	c575182	69.2	-72.0	775	261.10
adr415	16	c575182	69.2	-72.0	775	261.10

adr415	16	c575182	69.2	-72.0	775	261.10
adr416	16	c575182	69.2	-72.0	775	261.10
adr417	4	c344065	84.7	-56.4	289	123.41
adr418	4	c344065	84.7	-56.4	289	123.41
adr419	4	c344065	84.7	-56.4	289	123.41
adr420	6	c067812	65.8	-75.4	931	259.73
adr421	6	c067812	65.8	-75.4	931	259.73
adr422	6	c067812	65.8	-75.4	931	259.73
adr423	14	c336405	71.6	-69.5	599	57.69
adr424	14	c336405	71.6	-69.5	599	57.69
adr425	14	c336405	71.6	-69.5	599	57.69
adr426	5	c351268	95.0	-46.1	160	160.32
adr427	5	c351268	95.0	-46.1	160	160.32
adr428	5	c351268	95.0	-46.1	160	160.32
adr429	14	c336405	91.8	-49.3	208	100.50
adr430	14	c336405	91.8	-49.3	208	100.50
adr431	14	c336405	91.8	-49.3	208	100.50
adr432	5	c351268	72.3	-68.8	649	188.16
adr433	5	c351268	72.3	-68.8	649	188.16
adr434	5	c351268	72.3	-68.8	649	188.16
adr435	6	c067812	71.4	-69.8	689	276.67
adr436	6	c067812	71.4	-69.8	689	276.67
adr437	6	c067812	71.4	-69.8	689	276.67
adr438	6	c067812	78.1	-63.1	417	307.50
adr439	6	c067812	78.1	-63.1	417	307.50
adr440	6	c067812	78.1	-63.1	417	307.50
adr441	13	c819025	95.6	-45.5	165	5.57
adr442	13	c819025	95.6	-45.5	165	5.57
adr443	13	c819025	95.6	-45.5	165	5.57
adr444	4	c344065	91.5	-49.6	175	48.94
adr445	4	c344065	91.5	-49.6	175	48.94
adr446	4	c344065	91.5	-49.6	175	48.94
adr447	15	c614307	79.8	-61.3	417	159.35
adr448	15	c614307	79.8	-61.3	417	159.35
adr449	15	c614307	79.8	-61.3	417	159.35
adr450	6	c067812	95.8	-45.3	139	263.80
adr451	6	c067812	95.8	-45.3	139	263.80
adr452	6	c067812	95.8	-45.3	139	263.80
adr453	5	c351268	89.9	-51.2	193	135.63
adr454	5	c351268	89.9	-51.2	193	135.63
adr455	5	c351268	89.9	-51.2	193	135.63
adr456	16	c575182	63.5	-77.7	986	245.49
adr457	16	c575182	63.5	-77.7	986	245.49
adr458	16	c575182	63.5	-77.7	986	245.49
adr459	14	c336405	96.3	-44.8	140	90.82
adr460	14	c336405	96.3	-44.8	140	90.82
adr461	14	c336405	96.3	-44.8	140	90.82
adr462	1	c498458	66.2	-74.9	809	325.07
adr463	1	c498458	66.2	-74.9	809	325.07
adr464	1	c498458	66.2	-74.9	809	325.07
adr465	16	c575182	72.4	-68.8	654	263.85
adr466	16	c575182	72.4	-68.8	654	263.85
adr467	16	c575182	72.4	-68.8	654	263.85
adr468	16	c575182	74.4	-66.7	488	226.66
adr469	16	c575182	74.4	-66.7	488	226.66
adr470	16	c575182	74.4	-66.7	488	226.66
adr471	13	c819025	83.1	-58.0	310	39.38
adr472	13	c819025	83.1	-58.0	310	39.38
adr473	13	c819025	83.1	-58.0	310	39.38
adr474	5	c351268	76.7	-64.4	431	224.91
adr475	5	c351268	76.7	-64.4	431	224.91
adr476	5	c351268	76.7	-64.4	431	224.91
adr477	13	c819025	95.2	-45.9	154	342.62
adr478	13	c819025	95.2	-45.9	154	342.62
adr479	13	c819025	95.2	-45.9	154	342.62
adr480	16	c575182	66.5	-74.7	793	235.23
adr481	16	c575182	66.5	-74.7	793	235.23
adr482	16	c575182	66.5	-74.7	793	235.23
adr483	6	c067812	70.4	-70.7	692	250.94
adr484	6	c067812	70.4	-70.7	692	250.94
adr485	6	c067812	70.4	-70.7	692	250.94
adr486	13	c819025	83.4	-57.7	338	22.08
adr487	13	c819025	83.4	-57.7	338	22.08
adr488	13	c819025	83.4	-57.7	338	22.08
adr489	1	c498458	87.2	-53.9	267	339.87
adr490	1	c498458	87.2	-53.9	267	339.87
adr491	1	c498458	87.2	-53.9	267	339.87
adr492	1	c498458	75.3	-65.8	500	329.08
adr493	1	c498458	75.3	-65.8	500	329.08
adr494	1	c498458	75.3	-65.8	500	329.08
adr495	16	c575182	65.7	-75.5	809	231.17
adr496	16	c575182	65.7	-75.5	809	231.17
adr497	16	c575182	65.7	-75.5	809	231.17
adr498	16	c575182	66.4	-74.7	825	242.50
adr499	16	c575182	66.4	-74.7	825	242.50

adr499	16	c575182	66.4	-74.7	825	242.50
adr500	16	c575182	66.4	-74.7	825	242.50
adr501	1	c498458	77.2	-63.9	481	341.34
adr502	1	c498458	77.2	-63.9	481	341.34
adr503	1	c498458	77.2	-63.9	481	341.34
adr504	14	c336405	69.5	-71.6	690	62.91
adr505	14	c336405	69.5	-71.6	690	62.91
adr506	14	c336405	69.5	-71.6	690	62.91
adr507	6	c067812	81.6	-59.5	392	258.23
adr508	6	c067812	81.6	-59.5	392	258.23
adr509	6	c067812	81.6	-59.5	392	258.23
adr510	5	c351268	76.3	-64.8	476	151.76
adr511	5	c351268	76.3	-64.8	476	151.76
adr512	5	c351268	76.3	-64.8	476	151.76
adr513	15	c614307	72.4	-68.8	575	143.85
adr514	15	c614307	72.4	-68.8	575	143.85
adr515	15	c614307	72.4	-68.8	575	143.85
adr516	15	c614307	91.7	-49.4	140	220.38
adr517	15	c614307	91.7	-49.4	140	220.38
adr518	15	c614307	91.7	-49.4	140	220.38
adr519	14	c336405	74.1	-67.0	516	128.07
adr520	14	c336405	74.1	-67.0	516	128.07
adr521	14	c336405	74.1	-67.0	516	128.07
adr522	5	c351268	72.6	-68.6	640	173.63
adr523	5	c351268	72.6	-68.6	640	173.63
adr524	5	c351268	72.6	-68.6	640	173.63
adr525	16	c575182	72.9	-68.3	549	233.15
adr526	16	c575182	72.9	-68.3	549	233.15
adr527	16	c575182	72.9	-68.3	549	233.15
adr528	4	c344065	72.2	-68.9	575	55.84
adr529	4	c344065	72.2	-68.9	575	55.84
adr530	4	c344065	72.2	-68.9	575	55.84
adr531	15	c614307	83.6	-57.5	315	153.03
adr532	15	c614307	83.6	-57.5	315	153.03
adr533	15	c614307	83.6	-57.5	315	153.03
adr534	5	c351268	100.9	-40.2	68	201.64
adr535	5	c351268	100.9	-40.2	68	201.64
adr536	5	c351268	100.9	-40.2	68	201.64
adr537	14	c336405	80.5	-60.6	386	65.03
adr538	14	c336405	80.5	-60.6	386	65.03
adr539	14	c336405	80.5	-60.6	386	65.03
adr540	16	c575182	64.4	-76.8	924	242.69
adr541	16	c575182	64.4	-76.8	924	242.69
adr542	16	c575182	64.4	-76.8	924	242.69
adr543	5	c351268	83.4	-57.7	350	166.80
adr544	5	c351268	83.4	-57.7	350	166.80
adr545	5	c351268	83.4	-57.7	350	166.80
adr546	14	c336405	75.5	-65.6	542	82.69
adr547	15	c614307	74.5	-66.6	493	219.57
adr548	15	c614307	82.5	-58.6	373	170.44
adr549	16	c575182	68.8	-72.4	798	267.92
adr550	6	c067812	67.8	-73.3	839	266.93
adr551	14	c336405	84.4	-56.7	339	87.13
adr552	4	c344065	90.9	-50.2	201	116.57
adr553	1	c498458	64.9	-76.2	832	317.87
adr554	15	c614307	76.1	-65.0	478	147.21
adr555	16	c575182	69.3	-71.8	747	253.82
adr556	15	c614307	83.3	-57.8	293	221.26
adr557	6	c067812	75.2	-65.9	549	282.95
adr558	16	c575182	73.6	-67.5	601	257.42
adr559	15	c614307	78.5	-62.7	458	168.91
adr560	13	c819025	80.4	-60.7	393	334.54
adr561	6	c067812	78.6	-62.5	418	238.40
adr562	16	c575182	96.7	-44.5	114	254.74
adr563	14	c336405	84.6	-56.6	308	62.94
adr564	1	c498458	85.3	-55.8	260	321.41
adr565	5	c351268	88.7	-52.4	250	196.04
adr566	6	c067812	79.0	-62.2	455	259.48
adr567	16	c575182	73.7	-67.4	591	285.49
adr568	16	c575182	74.3	-66.8	557	247.85
adr569	14	c336405	77.4	-63.7	434	55.43
adr570	13	c819025	81.8	-59.3	369	337.05
adr571	16	c575182	85.9	-55.3	264	305.44
adr572	6	c067812	68.0	-73.2	828	277.29
adr573	15	c614307	74.9	-66.2	549	193.91
adr574	1	c498458	70.0	-71.1	637	319.71
adr575	5	c351268	80.8	-60.4	409	176.21
adr576	1	c498458	75.7	-65.4	523	16.77
adr577	1	c498458	81.4	-59.7	323	316.38
adr578	6	c067812	81.9	-59.3	392	275.57
adr579	4	c344065	106.2	-34.9	60	49.09
adr580	6	c067812	71.5	-69.6	682	262.76
adr581	15	c614307	80.6	-60.6	413	189.76
adr582	13	c819025	95.7	-45.4	160	1.43
adr583	5	c351268	79.8	-61.3	404	205.04

adr583	5	c351268	79.8	-61.3	404	205.04
adr584	6	c067812	82.7	-58.5	311	229.56
adr585	6	c067812	72.0	-69.2	665	277.78
adr586	1	c498458	73.1	-68.0	543	321.80
adr587	16	c575182	82.1	-59.0	349	298.77
adr588	10	c435254	64.4	-76.8	662	113.58
adr589	10	c435254	64.4	-76.8	662	113.58
adr590	10	c435254	64.4	-76.8	662	113.58
adr591	1	c498458	75.7	-65.4	507	3.96
adr592	1	c498458	75.7	-65.4	507	3.96
adr593	1	c498458	75.7	-65.4	507	3.96
adr594	9	c570421	62.2	-78.9	730	198.68
adr595	9	c570421	62.2	-78.9	730	198.68
adr596	9	c570421	62.2	-78.9	730	198.68
adr597	16	c575182	80.3	-60.8	405	281.53
adr598	16	c575182	80.3	-60.8	405	281.53
adr599	16	c575182	80.3	-60.8	405	281.53

